

**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

Mr. sc. Ivo Čala, dipl. ing. stroj.

**PRILOG ISTRAŽIVANJU ELEMENATA ORGANIZACIJSKE
STRUKTURE ODRŽAVANJA STROJARSKE OPREME**

DISERTACIJA

Zagreb, 1998. godina

**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**PRILOG ISTRAŽIVANJU ELEMENATA ORGANIZACIJSKE
STRUKTURE ODRŽAVANJA STROJARSKE OPREME**

DISERTACIJA

Mentor:

Prof. dr. sc. Nikola Šakić

Mr. sc. Ivo Čala

Zagreb, 1998. godina

Mojoj Petri i mome Luki

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK: 658.58

Ključne riječi: **Održavanje opreme, organizacijska struktura, procesi održavanja**

Znanstveno područje: **TEHNIČKE ZNANOSTI**

Znanstveno polje: **strojarstvo**

Institucija u kojoj je rad izrađen: **Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu**

Mentor rada: **prof. dr. sc. Nikola Šakić**

Broj stranica: 114

Broj slika: 56

Broj tablica: 22

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 39

Datum obrane:

Povjerenstvo: **Dr. sc. Dragutin Taboršak, red. prof.**

Dr. sc. Nikola Šakić, red. prof.

Dr. sc. Čedomir Oluić, red. prof.

Dr. sc. Antun Vila, red. prof.

Dr. sc. Branimir Kovačić, doc.

Institucija u kojoj je rad pohranjen:

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagreb

Nacionalna i sveučilišna knjižnica

ZAHVALA

Na početku želim zahvaliti na velikoj pomoći mom mentoru prof. dr. sc. Nikoli Šakiću, pa posebno na uloženom trudu, savjetima i razumijevanju prof. dr. sc. Čedomiru Oluiću. Zahvaljujem doc. dr. sc. Branimiru Kovačiću koji je nizom korisnih informacija pomogao da ovaj rad postane kvalitetniji. Velika hvala i mojim cijenjenim učiteljima prof. dr.sc. Antunu Vili i prof. dr. sc. Dragutinu Taboršaku. Iskreno zahvaljujem i kolegama s moga Zavoda za industrijsko inženjerstvo, koji su odvojili dio svog vremena i pomogli da ovaj rad tehnički i grafički bude korektan, i onima koji su preuzeli moj dio obveza u nastavi, što mi je omogućilo da rad završim u željenom roku. Na kraju zahvaljujem prof. Lini Kežić na lekturi ovog rada i prof. Marini Manucci na prevođenju.

Ivo Čala

S A D R Ź A J

- *Sadržaj*
- *Popis slika*
- *Popis tablica*
- *Popis kratica*
- *Predgovor*
- *Sažetak*
- *Abstract*

1.	UVOD	1
1.1.	Održavanje strojarske opreme	1
1.2.	Osnovna polazišta, pretpostavke i struktura rada	6
2.	RAZVOJ ORGANIZACIJE ODRŽAVANJA	9
2.1.	Općenito o razvoju organizacije	9
2.2.	Organizacijska struktura	12
2.3.	Elementi organizacijske strukture	16
3.	RAZVOJ FUNKCIJE ODRŽAVANJA	20
3.1.	Funkcija održavanja	20
3.2.	Razvoj koncepcija i modela održavanja	24
3.3.	Strategija održavanja	34
3.4.	Značajke i ocjena kvalitete opreme	36
3.5.	Eksploatacijska pouzdanost	42
4.	ISTRAŽIVANJE EKSPLOATACIJSKE POUZDANOSTI	47
4.1.	Podaci o zastojima na strojevima	47
4.2.	Proračun raspoloživosti strojeva	52
4.3.	Proračun eksploatacijske pouzdanosti	57
4.4.	Rezultati istraživanja	70
5.	OBLIKOVANJE PROCESA ODRŽAVANJA	81
5.1.	Metode i tehnike oblikovanja procesa održavanja	81
5.2.	Procesi održavanja industrijske opreme	84
5.3.	E-R dijagrami karakterističnih procesa održavanja	90
5.4.	Planiranje i upravljanje radovima održavanja	95
6.	MODELIRANJE ORGANIZACIJSKE STRUKTURE ODRŽAVANJA	100
6.1.	Faktori modeliranja	100
6.2.	Nove organizacijske strukture održavanja	101
7.	ZAKLJUČAK	108
	POPIS LITERATURE	111
	Životopis	113
	Curriculum Vitae	114

POPIS SLIKA

SLIKA	STRANICA	IME SLIKE /IZVOR/
-------	----------	-------------------

Poglavlje 1. UVOD

Poglavlje 2. RAZVOJ ORGANIZACIJE ODRŽAVANJA

2.1.	14	Podjela poslovnih funkcija poduzeća /16/
2.2.	18	Veze i odnosi između elemenata organizacijske strukture, kao i unutar elemenata organizacijske strukture /9/

Poglavlje 3. RAZVOJ FUNKCIJA ODRŽAVANJA

3.1.	21	Stanje opreme u funkciji vremena /18/
3.2.	23	Utjecaj sudionika na troškove održavanja u životnom vijeku opreme
3.3.	25	Razvoj koncepcija održavanja
3.4.	27	Faze životnog vijeka opreme /4/
3.5.	29	Struktura djelatnosti planskog održavanja
3.6.	31	Odnosi između logističkog i terotehnološkog pristupa i TPM /3/
3.7.	33	Odnos troškova održavanja i raspoloživosti
3.8.	34	Kvalitativni prikaz troškova održavanja u ovisnosti o pouzdanosti /25/
3.9.	35	Utjecajni čimbenici na djelatnost održavanja
3.10.	36	Izbor strategija održavanja opreme
3.11.	38	Zakonomjernost troškova eksploatacije /28/
3.12.	39	Ukupni troškovi tijekom životnog vijeka proizvoda /28/
3.13.	41	Odnosi troškova i pouzdanosti
3.14.	43	Vremenska slika stanja tehničkog sustava
3.15.	44	Pouzdanost jedne grupe opreme
3.16.	45	Rangiranje vrste kvarova
3.17.	45	Rangiranje dijelova i sklopova

Poglavlje 4. ISTRAŽIVANJE RASPOLOŽIVOSTI I EKSPLOATACIJSKE POUZDANOSTI

4.1.	53	Raspoloživost stroja broj - 1
4.2.	54	Prosječna raspoloživost strojne grupe 2
4.3.	54	Prosječna raspoloživost strojne grupe 3
4.4.	55	Prosječna raspoloživost strojne grupe 4
4.5.	55	Prosječna raspoloživost strojne grupe 5
4.6.	56	Prosječna raspoloživost strojne grupe 6
4.7.	56	Prosječna raspoloživost strojne grupe 7
4.8.	60	Histogramski prikaz relativnih frekvencija SVIK-a za stroj 1
4.9.	61	Krivulje pouzdanosti stroja 1
4.10.	62	Histogramski prikaz relativnih frekvencija SVIK-a za stroj 2

4.11.	64	Krivulje pouzdanosti stroja 2
4.12.	65	Histogramski prikaz relativnih frekvencija SVIK-a za stroj 3
4.13.	67	Krivulja pouzdanosti stroja 3
4.14.	69	Eksploatacijska pouzdanost strojne grupe 1 po eksponencijalnoj razdiobi
4.15.	69	Eksploatacijska pouzdanost strojne grupe 1 po Weibullovoj razdiobi
4.16.	72	ABC analiza po vrstama kvarova (s aspekta raspoloživosti)
4.17.	74	ABC analiza po vrstama kvarova (bez preventive)
4.18.	76	ABC analiza uzroka kvarova (DD i sklopovi)
4.19.	77	ABC analiza uzroka kvarova na stroju broj - 30

Poglavlje 5. OBLIKOVANJE PROCESA ODRŽAVANJA

5.1.	82	Prikaz informacijskog inženjeringa /32/
5.2.	83	Životni ciklus razvoja aplikacije /33/
5.3.	85	Dekompozicija funkcije održavanja /16/
5.4.	86	Dijagram tijeka održavanja opreme /6/
5.5.	87	Blok dijagram procesa preventivnih pregleda opreme
5.6.	88,89	Blok dijagram proces planskih popravaka opreme
5.7.	91	Proces planskih popravaka opreme(E-R dijagram)
5.8.	92	Proces preventivnih pregleda opreme (E-R dijagram)
5.9.	93	Proces planskog podmazivanja opreme (E-R dijagram)
5.10.	94	Proces održavanja po stanju (E-R dijagram)
5.11.	95	Proces praćenja i nabavljanja DD
5.12.	96	Korištenje fonda radnog vremena održavatelja
5.13.	97	Shema upravljanja održavanjem
5.14.	98	Tehnika mrežnog planiranja (segment plana GP)
5.15.	98	Vremenski dijagram (segment planiranog zahvata održavanja)

Poglavlje 6. MODELIRANJE ORGANIZACIJSKE STRUKTURE ODRŽAVANJA

6.1	100	Međusobni odnos unutarnjih faktora organizacije /9/
6.2.	101	Mogući načini strukturiranja odnosno modeliranja organizacijske strukture /9/
6.3.	104	Outsourcing u održavanju /38/

POPIS TABLICA

TABLICA	STRANICA	NAZIV TABLICE /IZVOR/
---------	----------	-----------------------

Poglavlje 1. UVOD

Poglavlje 2. RAZVOJ ORGANIZACIJE ODRŽAVANJA

Poglavlje 3. RAZVOJ FUNKCIJE ODRŽAVANJA

3.1.	23	Ocjenjivanje važnih značajki opreme u eksploataciji
------	----	---

Poglavlje 4. ISTRAŽIVANJE RASPOLOŽIVOSTI I EKSPLOATACIJSKE POUZDANOSTI

4.1.	47	Popis stojeva na kojima su snimljeni zastoji
4.2.	48	Podjela snimanih strojeva na grupe
4.3.	49	Broj , šifra i naziv kvara
4.4.	50	Pozicije i sklopovi koji su se kvarili za vrijeme snimanja
4.5.	51	Pregled zastoja na stroju broj - 1
4.6.	53	Rezultati raspoloživosti stroja broj - 1
4.7.	59	Tabelarni prikaz frekvencije SVIK-a za stroj 1
4.8.	61	Tabelarni prikaz frekvencije SVIKa- za stroj 2
4.9.	62	Prikaz Hikvadrat testa za podatke stroja 2 (eksponencijalna razdioba)
4.10.	63	Prikaz Hi-kvadrat testa za podatke stroja 2 (Weibullova razdioba)
4.11.	64	Tabelarni prikaz frekvencije SVIKa- za stroj 3
4.12.	65	Prikaz Hi-kvadrat testa za podatke stroja 3 (eksponencijalna razdioba)
4.13.	66	Prikaz Hi-kvadrat testa za podatke stroja 3 (Weibullova razdioba)
4.14.	67	Vrijednosti eksploatacijske pouzdanosti strojeva broj: 1,2,3, i 4 po satima rada (jedan dan 16 sati)
4.15.	71	ABC analiza po vrstama kvara (svi strojevi)
4.16.	73	ABC analiza po vrstama kvarova za sve strojeve (bez preventive)
4.17.	75	ABC analiza uzroka kvarova (DD i sklopovi)
4.18.	77	ABC analiza uzroka zastoja za stroj 30
4.19.	78	Određivanje SVIK-a na istom dijelu ili sklopu stroja broj 30
4.20.	79	Rezultati prosječnog trajanja sklopova za stroj 30

Poglavlje 5. OBLIKOVANJE PROCESA ODRŽAVANJA

Poglavlje 6. MODELIRANJE ORGANIZACIJSKE STRUKTURE ODRŽAVANJA

6.1.	103	Značajke modela organizacijskih struktura /37/
------	-----	--

POPIS KRATICA

ABC tehnika	Metoda za rangiranje podataka (Paretto analiza)
CIM	Computer Integrated Manufacture
BPR	Business Process Reengineering
CPO	Cjelovito produktivno održavanje
CEN	Comité Européen de Normalisation
CASE	Computer Aided Software Engineering
CBM	Condition Base Maintenance
DD	Doknadni dijelovi, doknadni dio
EFNMS	European Federation of Nacional Maintenance Societes
E-R	Entity Relationship
FTPM	Ford Total Productive Maintenance
FP	Funkcionalna podobnost
MTBF	Mean Time Betwen Failures
MDT	Maintenance Downtime
M	Maintainability
D PLUS	Maksimalna pozitivna razlika teorijske i empirijske razdiobe pri K-S testu
D MINUS	Maksimalna negativna razlika teorijske i empirijske razdiobe pri K-S testu
GP	Generalni popravak
JIT	Just in Time
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
MTBM	Mean Time between Maintenance
PM	Preventive Maintenance, Productive Maintenance
LCC	Life Cycle Cost
QA	Quality Assurance
N	Novčana sredstva na početku poslovnog procesa
R	Repromaterijal i ostala sredstva za proizvodnju
P	Proizvodni proces
R''	Roba (gotov proizvod ili usluga)
N''	Novčana sredstva na kraju poslovnog procesa
SVIO	Srednje vrijeme između radova održavanja (popravka) vidi MTBM
SVIK	Srednje vrijeme između dva kvara (vidi MTBF)
TPM	Total Productive Maintenance
VDK	Vrijeme do kvara (vidi TTF)
TTF	Time to Failure - vrijeme do kvara
K-S test	Kolmogorov - Smirnov test
χ^2	Hi kvadrat varijabla
A ₀	Optimalna raspoloživost opreme
A(t)	Raspoloživost opreme
E(t)	Efektivnost opreme
R(t)	Pouzdanost opreme
G(t)	Gotovost opreme
M _{ct}	Mean Corrective Maintenance

C_p	Troškovi proizvodnje opreme
C_o	Troškovi održavanja opreme
C	Ukupni troškovi opreme u ovisnosti o pouzdanosti ili raspoloživosti
t_m	Dopušteno prosječno vrijeme za obavljanje popravka
μ	Broj popravaka u jedinici vremena
λ	Intenzitet kvarova
β	Parametar oblika u dvoparametarskoj Weibullovoj razdiobi
η	Parametar položaja u dvoparametarskoj Weibullovoj razdiobi

PREDGOVOR

U svakom industrijskom poduzeću prisutan je problem održavanja opreme. S gospodarskog stajališta taj problem ima “težinu” godišnje približno 5 do 15% vrijednosti instalirane opreme u poduzećima (na razini države smatra se da iznosi 12 do 15% bruto društvenog proizvoda). Opće je poznato da se gubitak funkcionalnosti tehničkih sustava ne može izbjeći, ali se može utjecati na smanjenje troškova koji nastaju tijekom njihove uporabe.

Ovaj rad rezultat je istraživanja organizacije proizvodnje i višegodišnjeg bavljenja konzultantskom djelatnosti na reorganizaciji niza poduzeća, naročito održavanja i planiranja proizvodnje. Jedna od spoznaja iz toga rada odnosi se na to da postojeća organizacijska rješenja održavanja nisu zadovoljavajuća. Uvidom u recentne literaturne i druge izvore i spoznajom iz prakse dade se zaključiti da ni industrijski razvijene zemlje na ovom području nemaju zadovoljavajuća i općeprihvaćena rješenja. Naime, postoji vrlo velik broj koncepcija, pristupa, modela, pa i različitih politika vlasnika ili rukovodstva poduzeća na ovom području. Za ilustraciju se mogu spomenuti: JIT (Just in Time), Lean Production, Controlling, fraktalna (virtualna) organizacija proizvodnje itd. Isto tako u svijetu se u posljednjih desetak godina sve češće pristupa reorganizaciji ili kontinuiranoj brizi za učinkovitu kontrolu poslovnih procesa i svih njegovih segmenata pristupom koji se naziva BPR - Bussines Process Reengineering.

U ovom se radu prezentira istraživanje organizacijske strukture održavanja strojarske opreme u industrijskim poduzećima. Teorijski doprinos održavanju kao znanstvenoj subdisciplini je glavni cilj istraživanja uz kojega je i želja da takav doprinos rezultira inovacijama i poboljšanju održavanja u praksi.

Autor

PRILOG ISTRAŽIVANJU ELEMENATA ORGANIZACIJSKE STRUKTURE ODRŽAVANJA STROJARSKE OPREME

Sažetak rada

Izuzetna i sve veća gospodarska važnost održavanja u industriji temeljni je povod istraživanja elemenata organizacijske strukture održavanja strojarske opreme. Uz to povećanje raspoloživosti i pouzdanosti opreme, smanjenje negativnog utjecaja na prirodnu okolinu, daljnja humanizacija rada i radnih uvjeta, neki su od ciljeva koje ovo istraživanje ima u vidu.

Polazište i svrha ove disertacije jesu povećanje sigurnosti i točnosti pripremnih i učinkovitost provedbenih aktivnosti održavanja. Djelotvorniji i racionalniji zahvati, radovi i ciklusi održavanja, kao i učinkovitije gospodarenje resursima, jesu konkretni učinci koji se mogu polučiti rezultatima ovog istraživanja.

Primjenom suvremenih metoda i tehnika put tome cilju vodi kroz strukturiranje funkcija održavanja u formi procesa, kvantitativnu i kvalitativnu analizu pouzdanosti i raspoloživosti strojarske opreme, te modeliranje organizacijske strukture.

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF MACHINE EQUIPMENT MAINTENANCE ORGANISATION

Summary

The great and constantly growing economic importance of maintenance in industry forms the basis for studying the organisation elements in the machine equipment maintenance. Apart from this growing availability and reliability of equipment, reducing of its adverse effects on the environment and further humanisation of labour and working conditions are some of the objectives considered in this paper.

The starting point and the aim of the dissertation have been the safety and accuracy of maintenance activities both during the preparation phase as well as their efficiency during implementation. Concrete effects that may be achieved by adopting the results of this research include more efficient and more rational maintenance activities, work and intervals, as well as more efficient management of the resources.

The application of modern methods and techniques leading to this aim include structuring of maintenance functions during the procedure, quantitative and qualitative analyses of reliability and availability of machine equipment, as well as modelling of the organisation structure.

1. UVOD

1.1. Održavanje strojarske opreme

Temeljna funkcija svakog industrijskog poduzeća je proizvodnja. Za uspješnost ove funkcije jedna od vrlo važnih tehničkih podfunkcija je i **održavanje opreme**¹. Stručnjaci održavanja trebaju preventivnim i korektivnim zahvatima osigurati odgovarajući vijek trajanja opreme i njenu visoku raspoloživost, tj smanjiti zastoje na minimum. U praksi se mogu čuti i komentari “stručnjaka” kako je održavanje trošak, ali je danas opće prihvaćeno da taj trošak znači ulaganje u funkcioniranje opreme radi ostvarenja svrhe proizvodnog procesa. Drugim riječima, može se reći da u načelu nema industrijske opreme, koja će funkcionirati cijeli svoj životni vijek bez odgovarajućih zahvata preventivnog i korektivnog održavanja. Poznato je da sustava sa stopostotnom pouzdanošću nema, odnosno da nije moguće ostvariti determiniran tehnički sustav.

Za funkciju **održavanja**² u literaturi **postoji niz definicija** u ovisnosti o polazištima pojedinih autora. Tako C.E. Knight u knjizi Maintenance Engineering Handbook /1/ daje zanimljivu definiciju održavanja u obliku odgovora na postavljeno pitanje: **zašto tvornice trebaju odjel održavanja?** Opravdanje osnivanja službe održavanja je upravo u primjeni djelatnosti održavanja da bi se osigurala raspoloživost strojeva, zgrada i usluga potrebnih drugim dijelovima poduzeća za njegovo optimalno funkcioniranje i za najbolji mogući povrat ulaganja, bilo da se ulagalo u stroj, materijal ili ljude. Održavanje treba smatrati integralnim, bitnim dijelom organizacije poduzeća, koji u skladu s podjelom rada obavlja dio njegovih zadataka /1/.

Na kongresu OECD-a (Organization of European Community for Development) iz 1963. godine /prema 2/ stoji da je održavanje ona funkcija u poduzeću čija je nadležnost “stalan nadzor nad postrojenjima i obavljanje određenih popravaka i revizija, čime se omogućava stalna funkcionalna sposobnost i očuvanje proizvodnih postrojenja, pomoćnih postrojenja i ostale opreme.”

¹ Oprema je termin koji će se koristiti u ovom radu kao opći naziv za sve strojeve, agregate, uređaje, transportna i radna sredstva. Ekonomisti i pravnici **opremu** obično nazivaju sredstva rada ili duže **osnovna sredstva rada**.

² Eng.: Maintenance, Njem.: Instandhaltung, Tal.: Manutenzione

Interesantan je stav S. Nakajime, tvorca japanskog TPM (Total Productive Maintenance)³ koji piše da maksimiziranje učinkovitosti opreme zahtijeva potpunu eliminaciju kvarova, zastoja i drugih negativnih pojava (drugim riječima, svih gubitaka kojima je uzrok u svezi opreme)/3/. Na međunarodnom skupu “Održavanje 96” u Opatiji W. Tschuschke⁴ u svom izlaganju: “Temelji održavanja 2010” kaže: “Polazišna točka suvremenog održavanja ne može više biti mišljenje i djelovanje u pojedinačnim postupcima i događajima i time reaktivan način djelovanja. Nova paradigma mora biti sustavno procesualno mišljenje i djelovanje, mora biti cjelovito (vijek trajanja) i integrativno”. Dalje zaključuje da se održavanje temelji na činjenici: **Trošenje tehničkih sustava se ne može izbjeći, ali se može utjecati na njegovo smanjenje** /4/.

Ukupna djelatnost održavanja se u pravilu dijeli na **preventivne i korektivne radove**. Tako je po A. Vili /5/ jedna od prvih definicija preventivnog održavanja kod nas: “Preventivno održavanje sastoji se od sistematskih kontinuiranih planskih pregleda, podmazivanja i popravaka strojeva, uređaja i zgrada, kako bi se održali u optimalnim uvjetima”. Korektivno održavanje podrazumijeva sve radove održavanja koji se obavljaju nakon kvara. Jedna od poznatih koncepcija održavanja, pod nazivom: Terotehnologija⁵ prema E. Rejecu /6/ definirana je na sljedeći način: **Terotehnologije** ili **organizacija osnovnih sredstava** obuhvaća djelatnosti od projektiranja, odnosno nabave osnovnih sredstava do njihovog izdvajanja iz procesa proizvodnje.

Zadaci funkcije održavanja sadržani su u navedenim definicijama, a obično se dijele dvije osnovne grupe: primarne i sekundarne. Takvo razvrstavanje zadatke djelatnosti održavanja u poduzeću dijeli na “obvezne” ili osnovne (održavanje opreme, zgrada i terena, pregledi i podmazivanje strojeva, rekonstrukcija i modernizacija postojećih strojeva itd.) i one sekundarne koje djelatnici održavanja obavljaju jer imaju odgovarajuće znanja (briga oko smanjenja buke i raznih onečišćenja - ekološki aspekt, pregledi i kontrole opreme, te izdavanje atesta, osiguranje propisanih sigurnosnih mjera,

³ Ovaj naziv japanske koncepcije održavanja TPM može se na hrvatski jezik prevesti kao Cjelovito produktivno održavanje (CPO)

⁴ W. Tschuschke je uvaženi član EFNMS-a i predsjedavajući CEN (Comité Européen de Normalisation) projekta u održavanju.

⁵ Terotehnologija je naziv koncepcije djelatnosti održavanja koja je nastala 1970-ih godina u Velikoj Britaniji, a autor je Denis Parkes. Naziv vuče korijen iz grčke riječi *τερος*, što se može prevesti kao briga, kormilarenje i *λογος*, što se može prevesti kao znanost.

itd) /1/. U praksi se često u sklopu djelatnosti održavanja obavljaju zadaci proizvodnje i distribucije potrebnih energetske medija.

Očekivati je da će sekundarne zadaće funkcije održavanja sve više dobijati na značenju. Ta očekivanja proizlaze iz evidentnih trendova na području standardizacije. Već uglavnom implementiran niz standarda ISO 9000 nastavlja objavljeni niz ISO 14000 (što se bavi pitanjem zaštite okoliša), a već je najavljen niz ISO 20000, koji će regulirati ponašanje poduzeća u pogledu sigurnosti na radu. Očito je da su oba nova niza standarda usko povezana upravo s navedenim sekundarnim zadaćama funkcije održavanja.

Cilj funkcije održavanja je osigurati optimalnu raspoloživost nabavljene i instalirane opreme u proizvodnim poduzećima uz što manje troškove. E. Rejec terotehnologiju ovako definira: “Cilj je terotehnologije optimalizacija održavanja, a to znači da želimo postići takav režim održavanja kod kojeg je zbir troškova održavanja i troškova zastoja zbog kvarova i radova na održavanju minimalan” /6/. J. Frånlund⁶ u članku: “Model odluke za planiranje održavanja” izloženom na 4. međunarodnom savjetovanju ODRŽAVANJE’ 97, opisao je cilj funkcije održavanja stavom, u slobodnom prijevodu: “Aktivnosti održavanja se poduzimaju kako bi se osiguralo da se radna funkcija proizvodne opreme zadrži u stanju kakvo je bilo u trenutku njenog instaliranja, ili u takvo stanje vrati, na troškovno najučinkovitiji način”. /7/

Područje održavanja sažeto se može razmatrati kroz podjelu na četiri povezana dijela, a to su **teorijske osnove, tehnologije održavanja, osnovni procesi i organizacija održavanja**.

U **teorijskim osnovama** sadržane su zakonitosti ponašanja tehničkih sustava definirane npr: krivuljom kade, tehničkim indikatorima ispravnosti, padom radne sposobnosti opreme, značajkama kvalitete opreme (kao što su pouzdanost, raspoloživost, efektivnost, sposobnost za održavanje i slično). Na temelju ovih spoznaja mogu se stvarati tehnički elementi za argumentirani izbor strategije održavanja, a nakon toga izbor odgovarajuće tehnologije održavanja, dakle procesa održavanja, te na kraju rješenja logističke podrške i organizacije.

Tehnologije su se održavanja razvojem znanosti i tehnologija značajno mijenjale. Za ilustraciju su može spomenuti jedna od novijih tehnologija pod nazivom metalock⁷. Uz razne tehnologije spajanja, nanošenja materijala i rekonstrukcija uopće, treba spomenuti i tehnologije iz područja dijagnosticiranja stanja opreme, kako bi se donijele odluke o potrebi zahvata održavanja i opsegu radova održavanja. Dalje se iz ovog područja dijagnosticiranja korištenjem računala razvijaju tehnike prognoziranja ponašanja opreme, kako bi se unaprijed definirali potrebni zahvati.

Osnovni procesi u djelatnosti održavanja nekog poduzeća ovise o zahtjevima koje postavlja proizvođač opreme, vlastitih iskustava u korištenju takve opreme za vrijeme eksploatacije i iskustava drugih korisnika, kao i izabrane strategije i tehnologije održavanja. Tako se može govoriti o osnovnim procesima preventivnih pregleda, planskih popravaka, planskog podmazivanja, održavanja po stanju itd. Tako oblikovani i definirani procesi karakteristični su za jednu sredinu i ustvari su poslovnici ili “zakon” po kojem se izvode odabrane aktivnosti. U sljedećem koraku ili na nižoj razini mogu se izraditi **procesi niza aktivnosti za konkretan zahvat održavanja** (na primjer planski popravak tehnološke proizvodne linije koji se obavlja svake godine, prikazan na slici 5.6, primjer iz farmaceutske industrije).

Organizacija održavanja dijeli se, najčešće prema pristupu konstituiranju organizacijske jedinice, na centraliziranu i decentraliziranu, na primjer prema A. Vila /5/, E. Rejec /6/, C.E. Knight /1/.

Kada je **funkcija održavanje** konstituirana kao služba na razini poduzeća onda je to **centralizirani oblik** organizacijskog rješenja, tj na jednom mjestu se definira strategija održavanja, tehnologije održavanja, osnovni procesi održavanja, planovi, praćenje

⁶ Jan Fränlund, član uprave (Executive Committee) EFNMS i voditelj EFNMS projekta za certifikaciju europskih eksperata održavanja, predsjednik Švedskog društva održavanja UTEK, urednik glasila EFNMS,

⁷ Tehnika spajanja polomljenih dijelova kućišta i sličnih proizvoda od sivog ili čeličnog lijeva, korištenjem svornjaka, i posebnih “ključeva” koji se utiskuju u prethodno pripremljene otvore (gnijezda) u i oko mjesta puknuća, a bez ikakvog zagrijavanja materijala. Ta tehnika se počela koristiti na prvim bušotinama nafte u Texasu 1930-ih godina, a ideja potječe od rimskih graditelja, koji su u unaprijed pripremljene utore na kamenim blokovima pri njihovom slaganju i učvršćenju ulijevali tekuće olovo. Postupak je razvijen i patentiran u Velikoj Britaniji 1950- ih godina , a već 1953. organiziraju se europske članice, tako da 1970.-ih godina na svijetu postoje 132 Metalok centra, a svaki od njih s 2-24 predstavništva./8/

obavljenih radova održavanja, a djelatnici održavanja odlaze na obavljanje definiranih i planiranih radova održavanja u pojedine proizvodne pogone. Radionice održavanja u tom su slučaju s kompletnom opremom za održavanje organizacijski također centralizirane. Kako je danas važno nastojanje u politici svakog poduzeća smanjenje troškova proizvodnje i poslovanja (lean production)⁸ sve je češći slučaj da se velike službe održavanja **decentraliziraju** na više manjih organizacijskih jedinica koje organizacijski pripadaju proizvodnim pogonima i obavljaju samo manje zahvate održavanja dok se za veće radove koriste vanjske usluge.

Uspješni održavatelji moraju, poštujući ukupnu politiku poduzeća, znati izabrati one aktivnosti održavanja koje će osigurati **visoku raspoloživost opreme uz optimalna sredstva, metode, organizaciju i tehnologiju**. To su dva suprotna zahtjeva koja traže vrlo stručan i pažljiv pristup izboru strategije održavanja, procesa održavanja i njegove logističke potpore, te na kraju organizacije.

Pristupi organizacijskom rješavanju funkcije održavanja u poduzeću ovise o vrsti instalirane opreme, proizvodnom procesu, kadrovima, okruženju i slično. Tako u industriji, gdje se proizvodni procesi izvode na pojedinačnim relativno neovisnim strojevima (npr. obradbeni strojevi), zastoji i kvar jednog stroja obično ne utječu na prekid cijelog proizvodnog procesa (operacija se može izvesti na zamjenskom stroju iz iste grupe). S tim u svezi **važnost održavanja je veća kod procesne proizvodnje** (rafinerije, bazna kemijska industrija, proizvodnja celuloze i papira, farmaceutska industrija itd), jer mogu nastati veliki gubici u proizvodnji (u takvom slučaju zaustavljaju se svi relevantni procesi).

Na temelju uvida u literaturu i poznavanja prakse (u više od 100 poduzeća) može se zaključiti da su najbolja rješenja kombinacija centralizirane i decentralizirane organizacije. To znači npr. da su centralizirane radionice održavanja i važni poslovi vođenja politike održavanja, priprema održavanja, nabava DD⁹ itd, a da su decentralizirane ekipe djelatnika održavanja po pojedinim proizvodnim pogonima. Za druge koncepcije i modele održavanja (navedene na slici 3.3.) njihovi autori tvrde da

⁸ Lean production, vitka ili mršava proizvodnja, no misli se na proizvodnju s minimalnim ulaganjima

⁹ DD je uobičajna kratica za doknadne dijelove (zamjenske pozicije ili sklopovi). Sinonimi su za DD: rezervni dijelovi i pričuvni dijelovi.

predstavljaju i organizacijska rješenja ove djelatnosti. Praksa pokazuje da to nije baš tako i da možda jedina koncepcija organizacijski zaokružena može biti japanski TPM.

Poznato je da danas u svijetu egzistira niz različitih koncepcijskih rješenja i modela djelatnosti održavanja, gdje se uz tehnička rješenja daje i organizacijska struktura ili samo elementi organizacijske strukture, kao na primjer: vrste poslova, način odvijanja, potrebne informacije i slično. Takva različitost može se, sa stajališta prakse, opravdati brojnošću i raznovrsnošću objekata, struktura, procesa, uvjeta i drugih čimbenika održavanja.

1.2. Osnovna polazišta, pretpostavke i struktura rada

Visoka proizvodnost, ekonomičnost i fleksibilnost proizvodnih procesa, maksimalna pouzdanost i kvaliteta proizvoda, minimalni utjecaj na prirodnu okolinu, minimalni troškovi poslovnih procesa, humanizacija rada i radnih uvjeta, samo su neki od ciljeva industrijskih poduzeća. Svi ovi ciljevi u određenoj mjeri i na određen način definiraju se i na razini održavanja opreme.

Jedna od logičnih pretpostavki ostvarenja navedenih i inih ciljeva je razvojni i istraživački rad, te kontinuirano uvođenje novih spoznaja (non progredi est regredi!) na svim područjima.

Polazište i svrha ovog rada jesu povećanje sigurnosti i točnosti pripremnih i učinkovitost provedbenih aktivnosti održavanja strojarske opreme u industrijskim poduzećima. Na taj način moguće je povećanje raspoloživosti instalirane opreme kojom se ostvaruje bitna pretpostavka za bolji poslovni rezultat.

Zbivanja i učestale promjene u pristupu, koncepciji, izvedbi i vođenju proizvodnih procesa izravno utječu i na područje održavanja opreme. U takvim uvjetima održavanje opreme također treba biti djelotvorno i racionalno. Nove spoznaje i dostignuća, posebno informatike, tehnike, tehnologije i organizacije svakodnevna su pojava i razlog brzom zastarjevanju još “jučer” dobre metode ili postupka. Želja za sve većom dobiti svakodnevno otvara nova pitanja i traži nova rješenja.

U skladu s određenjem svrhe ovoga rada, od posebnog su interesa promjene i zbivanja na području prakse i teorije organizacije poduzeća, organizacije proizvodnje i organizacije održavanja opreme. Ovaj značaj slijedi zbog izravne veze između rješenja procesa održavanja i strukturiranja organizacije održavanja. Osim toga organizacijski procesi utječu na oblikovanje organizacijske strukture, a vrijedi i obrnuto /9/. To posebno postaje važno s primjenom SW za upravljanje održavanjem, koji na određen način utječe na definiranje procesa održavanja i na sama organizacijska rješenja. Pretpostavka je da ovo istraživanje može rezultirati određenim spoznajama o procesima održavanja.

U ovom radu pozornost će se posvetiti i kritičkoj analizi područja vrijednosti pojedinih koncepcija, pristupa i metoda u održavanju.

Važna pretpostavka u ovom radu je da se primjenom kvantitativnih pokazatelja, posebno u fazi pripreme, može povećati uspješnost procesa održavanja. Na taj način radovi, ciklusi, zahvati, upravljanje zalihama DD i dr. mogu rezultirati efikasnijim i racionalnijim održavanjem u odnosu na danas poznata rješenja. Za ovu pretpostavku polazište su podaci o opremi u eksploataciji.

Pretpostavka je da se istraživanjem strukture kvarova i njihovih uzroka mogu uočiti slaba mjesta (pozicije i sklopovi opreme čija je učestalost kvara veća od uobičajne) na opremi, vremenski interval potrebnih preventivnih zahvata, te srednje vrijeme između dva kvara pojedinih dijelova opreme kako bi se dobili argumenti za točnije definiranje procesa održavanja i njegovog planiranja. Određivanje potrebnog broja DD za svaki stroj i određeni vremenski interval u budućnosti, dodatni su ciljevi koji će se moći ostvariti u slučaju da se prethodna pretpostavka pokaže ispravnom.

Namjera je da se analiziraju i mogućnosti teorijskog doprinosa metodologiji projektiranja, organiziranja i upravljanja održavanjem.

S obzirom na definiranu svrhu, polazište i pretpostavke, održavanje se u ovom istraživanju razmatra nezavisno od procesa proizvodnje. Stav je autora ovog rada da rezultati malo ovise o organizacijskom ustroju održavanja u strukturi industrijskog poduzeća. Naime, takav ustroj je samo ograničenje u postupcima koji za istraživanje ima značenje samo radi

toga jer definira funkciju održavanja ili sadržaj područja održavanja u odnosu na sve druge funkcije.

Ovaj je rad strukturiran u sedam poglavlja. Nakon uvoda, u drugom poglavlju sažeto je opisan dosadašnji razvoj organizacije, u kojem se osim organizacije općenito tretira i organizacijska struktura, organizacijski procesi i elementi organizacijske strukture. U trećem poglavlju slijedi opis razvoja funkcije održavanja i odgovarajućih pristupa, koncepcije i filozofija djelatnosti održavanja. Prikaz počinje korektivnim održavanjem, od prvih standardnih doknadnih dijelova (Fordova serijska proizvodnja), preko preventivnog, pa produktivnog održavanja sve do suvremenih, tzv. “filozofija održavanja”, koje 70-tih godina nastaju u SAD (logistički pristup održavanju), u Velikoj Britaniji (Terotehnoški) i u Japanu TPM. Prikaz završava tzv. samoodržavanjem koje je vjerojatno bliža budućnost. Nastavak tog poglavlja sadrži razrađen pristup izboru strategije održavanja konkretnog poduzeća, kao i relevantne značajke kvalitete opreme za donošenje odluke. Posebno su obrađene eksploatacijska pouzdanost i raspoloživost. Istraživanje eksploatacijske pouzdanosti i raspoloživosti industrijske opreme obrađeno je u četvrtom poglavlju u kojem su interpretirani rezultati i navedene korisne spoznaje za oblikovanje i donošenje odluka pri upravljanju djelatnošću održavanja.

U petom su poglavlju definirani osnovni procesi djelatnosti održavanja koji su važni za izbor i kompoziciju elemenata organizacije, te koji će osigurati minimalan zastoj opreme. U tom su poglavlju obrađene metode i tehnike oblikovanja procesa održavanja, opisani izabrani i u praksi često korišteni procesi održavanja industrijske opreme i sažet osvrt na planiranje i upravljanje radovima održavanja.

Šesto poglavlje sadrži modeliranje organizacije održavanja. Na kraju sedmo poglavlje sadrži zaključna razmatranja.

2. RAZVOJ ORGANIZACIJE ODRŽAVANJA

2.1. Općenito o razvoju organizacije

Može se reći da je organizacija¹⁰ jedna od najstarijih ljudskih aktivnosti, jer ju je čovjek kao misaono biće jednostavno trebao, kako bi mogao opstati i postići određene ciljeve (osigurati hranu-lov, poljodjelstvo, izgradnju doma, izradu alati i ostalih potrepština itd). U knjizi /9/ prof. M. Novak kaže: “U čitavoj svojoj povijesti čovjek se služio organizacijom i pripadao različitim oblicima organizacije, od prvih slučajnih (lovačkih) skupina do suvremenih oblika zajedničkog rada i života. Čovjek nije nikad mogao, a ni danas ne može, bez organizacije. U svakom razdoblju svoga života, mada ponekad toga nije ni bio svjestan, stalno je pripadao raznovrsnim organizacijama”. U ovom se radu neće govoriti o razvoju organizacije od prapočetaka do danas, jer je područje interesa vezano na organizaciju gospodarskih industrijskih subjekata, tj funkciju održavanja. Činjenica je da postoje određeni stupnjevi razvoja organizacije koji su posljedica tehničkog i civilizacijskog napretka. O tome su u literaturi brojne sistematizacije i klasifikacije, među kojima je i podjela na tri vremenska razdoblja:

1. organizacija do 20. stoljeća,
2. organizacija od početka 20. stoljeća do kraja 2. svjetskog rata,
3. organizacija od 2. svjetskog rata do danas /10/.

Sve sistematizacije međusobno se razlikuju prema odabranim i definiranim polazištima, kriterijima i ciljevima. Osim navedene grube podjele, postoji niz autora koji se bave istraživanjem organizacije i imaju detaljniju podjelu, a posebno od početka 20. stoljeća (za razdoblje od Taylora i Fayola do danas). Tako M. Žugaj /11/ kaže: “U dosadašnjem razvoju znanosti o organizaciji možemo razlikovati tri razdoblja (teorije, etape, prilaza, škole). To su:

¹⁰ Riječ organizacija dolazi od grčke riječi **“organon”**, a prvobitno je upotrebljavana kao termin za alat, kasnije za tjelesne organe. U Aristotelovoj logici **“organon”** se koristi za označavanje unutarnje povezanosti. Kasnije se s tim u vezi sreće latinski termin **“organisatio”**, a prevodi se kao funkcioniranje nekog organizma, ili oblikovanje nečega u cjelinu kako bi ona djelovala poput ljudskog organizma.

- a) klasična teorija,
- b) neoklasična teorija,
- c) moderna teorija.”

U ovakvoj podjeli klasična je teorija vremenski locirana u razdoblje od 1900. do 1920. godine, neoklasična od 1920. do 1940. godine, a moderna od 1940. godine do danas /11/. A. Vila polazi od drugih kriterija i navedene teorije svrstava u druge vremenske granice, pa tako klasična teorija organizacije pokriva razdoblje od 1900. do 1930. godine, neoklasična od 1930. do 1950. godine, a moderna od 1950. godine do danas/11/. Treba reći da su sve te podjele uvjetne, te ih tako treba i shvatiti. H. Koontz nakon što su početkom stoljeća objavljeni prvi radovi (Taylor, Fayol), i pojavio se vrlo velik broj koncepcija organizacije, naziva to stanje *teorijskom džunglom*. S tim u svezi M. Žugaj piše /11/: “Ilustracije radi navodimo nekoliko naziva pojedinih pravaca, kao na primjer: birokratska organizacija, naučno upravljanje i rukovođenje, administrativna teorija, škola ljudskih odnosa, empirijska škola, škola teorije odlučivanja, škola procesne organizacije, matematska (kvantitativna) škola organizacije, situaciona škola, neoklasična teorija, klasična teorija, moderna teorija organizacije i drugi”. Zanimljiva je i podjela B. Kovačića /12/ koji teoriju organizacije dijeli na dva važna teorijska koncepta:

- a) koncept organizacije kao sustava,
- b) koncept modularne organizacije (ovo je fleksibilnije rješenje usmjereno postizanju određenih ciljeva - projekti ili procesi).

Isti autor dalje piše: “Bitna karakteristika modularnog koncepta organizacije nije način na koji će se složiti sustav modula, to jest princip projekta ili procesa, već decentralizirana organizaciona forma kao organizacijski odgovor na potrebu za većom fleksibilnošću, koja efikasnije ispunjava zahtjev za dinamičkom adaptacijom na promjene u okolini. To se ostvaruje pomoću međusobno koordiniranih i povezanih modula putem sustava komunikacija i informacija, dakle, podsustav s visokim stupnjem nezavisnosti i sposobnosti za samostalno obavljanje zadataka”/12/.

Kada se danas govori o organizaciji rada (ili šire organizaciji općenito) suvremeni je rukovoditelji (manageri) obično prepoznaju od Taylorovih (“Shop Management” 1911. godina i “Principles of Scientific Management” 1911. godina) i Fajolovih (“Administration Industrielle et General” iz 1916. godine) radova iz početka ovog stoljeća. Oni te radove i ocjenjuje kao početke suvremenog proučavanja managementa /13/. Prema M. Novaku organizaciju čine elementi organizacijske strukture, organizacijska sredstva i organizacijski postupci /9/.

Ovaj rad je usmjeren istraživanju elemenata organizacije održavanja koji su sa svojim vezama dio organizacijske strukture poduzeća. Radi toga je potrebno komentirati i pojasniti način korištenja riječi **organizacija**, a ona se po A. Vili /14/ koristi na tri načina:

1. Organizacija znači **“subjekt”**; neko poduzeće, institut, zavod, državnu instituciju. U tom smislu je pojam organizacije vrlo dobro definirao američki teoretičar Rensis Likert, koji kaže: “Poslovna organizacija je racionalan i smišljen sustav s jasno utvrđenom strukturom, ciljem svog djelovanja sa zacrtanim putevima za postizanje tog cilja. Temelji se na načelu podjele rada i racionalnog modela udruživanja radnih aktivnosti sa što boljim iskorištenjem materijalnih, ekonomskih i ljudskih resursa, kako bi se što učinkovitije postigli formalno postignuti ciljevi.”
2. Organizacija znači i neku **“strukturu”**. To može biti neka društvena, sociotehnička struktura sredstava rada i ljudi. Naglasak je na nizu elemenata, koji su na određeni način složeni i međusobno povezani u stanovite odnose. U nastavku A. Vila /14/ organizacijsku strukturu dijeli na tri osnovna elementa:

a) **kompleksnost**, kojom se opisuje vertikalna i horizontalna diferencijacija, koja znači definiranje funkcija, odjela i službi. Na taj način definira se podjela rada, dobije se broj organizacijskih razina, kao i širina organizacije.

b) **formalizacija**, pod kojom se razumijeva definiranje organizacijskih:

- politika, općih smjernica, koje definiraju granice, unutar kojih mogu pojedinci donositi odluke,
- procedura ili niza postupaka, koje treba pratiti da bi se određen zadatak obavio,

- pravila, osnovnih postupaka (zadataka), koji moraju biti obavljeni. To je obično dio neke organizacijske procedure.

c) **centralizacija**, pod kojom se podrazumijeva stupanj centraliziranosti, odnosno decentraliziranosti organizacije s obzirom na planiranje i odlučivanje. Na kraju zaključuje o strukturi: “U tom slučaju, dakle, nije riječ samo o kompleksnosti, koju vidimo prikazanu shematski; struktura zahtijeva definiranje načina planiranja, tehnika, koje će pri tome biti korištene, proceduralno opisane radnje, korištene metode, pomoćna sredstva kao i prava pojedinih rukovoditelja (poslovođa) pri donošenju odluka.”

3. Organizaciju određuje **dinamičan organizacijski proces**, čiji je tijek definiran u određenom vremenu. Pod tim se podrazumijeva smišljeno, povezano i usklađeno djelovanje i funkcioniranje određene organizacijske strukture s definiranim ciljevima, čija se uspješnost i učinkovitost prati i ocjenjuje.

2.2. Organizacijska struktura

Značenje organizacijske strukture¹¹ za poduzeće, jednak je važnosti strukture (građe) tijela živih bića, pa se zbog toga ona naziva i “anatomijom organizacije”. Kako anatomija predstavlja znanost o građi živih bića ili njihovih organa, tako i struktura organizacije predstavlja građu poduzeća, kao i sustav dijelova koji čine to poduzeće /9/.

Iz toga se ne bi smjelo zaključiti da je za dobro funkcioniranje poduzeća dovoljno kreirati dobru organizacijsku strukturu, jer tu još manjkaju organizacijska sredstva i organizacijski postupci. M. Novak kaže da je **organizacija** širi pojam od **organizacijske strukture**, a da je organizacijska struktura samo jedan, premda najvažniji, element organizacije /9/. O tome piše P.Druker: “Dobra organizacijska struktura nije nikakav univerzalni lijek... Napokon, ni anatomija nije sve u biologiji. Ali, prava je organizacijska struktura

¹¹ Riječ struktura (latinski struktura potječe od struere, što znači slagati, sklapati, zidati) B. Klaić: Rječnik stranih riječi, MH, Zagreb 1981. godina, ima nekoliko različitih značenja. Pod riječju struktura podrazumijeva se na primjer, građa, sastav, sklop, raspored, način gradnje, tvorevina, organizam. Iz ovako širokog opisa značenja riječi dade se zaključiti da je struktura bitna uopće, a posebno kod istraživanja sustava i organizacije.

neophodan temelj. Bez nje će i najbolji učinak u svim drugim područjima rukovođenja ostati neefikasan i jalov” /prema 9/.

M. Buble daje osvrt na organizacijsku strukturu promatranu s gledišta klasične teorije organizacije (organizacijska struktura je skelet, građa ili ustrojstvo) i uspoređuje s promjenama nastalim danas, a to je: organizacijska se struktura tretira kao skup međusobno povezanih dijelova poduzeća (poduzeće se komponira od svojih elemenata)./15/

Iz navoda A. Vile /14/ uočava se da je poseban naglasak na strukturi organizacije koju dijeli na tri osnovna elementa: kompleksnost, formalizacija i centralizacija.

Često se organizacijska struktura izjednačava s organizacijom rukovođenja, jer se iz organigrama rukovođenja vide i najznačajniji elementi organizacijske strukture. Dakle, organizacija rukovođenja je samo jedan element (vrlo važan) od elemenata organizacijske strukture.

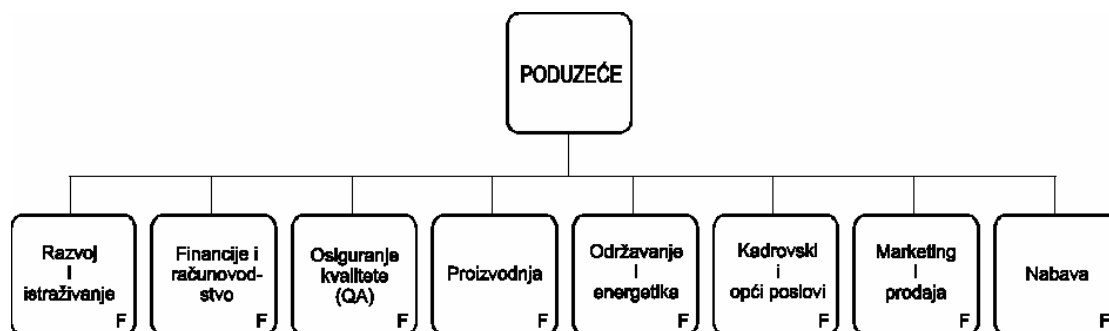
Predmet istraživanja u ovom radu je organizacija održavanja u industrijskim poduzećima za koje vrijede sve spoznaje o organizaciji rada odnosno organizaciji poduzeća (tj bilo kojeg proizvodno gospodarskog subjekta). Da bi bilo koji gospodarski subjekt uspješno funkcionirao treba obavljati sve zadatke koji će osigurati postizanje cilja poduzeća. Sve zadatke u takvom procesu različiti autori svrstavaju u nekoliko poslovnih funkcija (ponekad: poslovnih područja) poduzeća. Kao najprihvatljivija podjela na funkcije čini se ona M. Novaka, koji sve zadatke procesa proširene reprodukcije nekog poduzeća dijeli na sedam poslovnih funkcija, i to:

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| 1. Istraživačka, | 5. Prodajna, |
| 2. Razvojna, | 6. Financijsko računovodstvena, |
| 3. Kadrovska, | 7. Proizvodna./9/. |
| 4. Nabavna, | |

Problemom podjele poslovnog procesa poduzeća na glavne funkcije bavila se i skupina istraživača s FSB-a Zagreb u okviru rada na znanstveno-istraživačkom projektu (br. 2-08-175) pod naslovom : “Istraživanje razvoja sustava logistički integrirane proizvodnje”, a glavni je istraživač bio profesor D. Taboršak. U tom projektu, u izvješću za 1993. godinu, istraživački tim predložio je podjelu na osam poslovnih funkcija, kako to pokazuje slika 2.1. /16/.

Usporedbom dviju navedenih podjela mogu se uočiti bitne razlike, manje po broju ali značajnije po sadržaju. Očekivati je da se te razlike i dalje povećavaju, što može biti posljedica promjena teorije i prakse organizacije, promjena u društvu, te općeg napretka znanosti. Već danas se može govoriti da u pojedinim poduzećima postoje nove poslovne funkcije, kao što su npr. LOGISTIČKA I INFORMACIJSKA FUNKCIJA. Očito da je skup “industrijskih poduzeća” prevelik i nehomogen po bitnim značajkama, tako da se teško može generalizirati broj i naziv poslovnih funkcija.

Za istraživanja u ovom radu nije bitna hijerarhijska razina održavanja, budući da o tome ne ovise bitno metodologija, principi niti metode definiranja procesa održavanja. Prema pristupu, definiranom u uvodu ovog rada, za početno stanje istraživanja održavanja izabire se fiktivno industrijsko poduzeće sa strukturom poslovnih funkcija prema slici 2.1.



Slika 2.1. Podjela poslovnih funkcija poduzeća /16/

Ovim izborom rješava se problem statusa funkcije održavanja, odnosno određuje glavni objekt i domena istraživanja. S metodološkog stajališta važno je razlikovati naziv: funkcija od naziva služba (odjel, sektor,...), a o tome M. Novak /9/ piše: “**Funkcija** (poslovna funkcija) se u organizacijskoj teoriji definira kao skup povezanih poslova kojima se ostvaruje poseban zadatak ili drukčije rečeno, jedna faza reprodukcijskog procesa.

Služba¹² je, naprotiv, skupina ljudi određenih stručnosti koja s odgovarajućim sredstvima ostvaruje jedan ili više posebnih zadataka a u nekim slučajevima i samo dio posebnog zadatka. Budući da se svaki reproduksijski proces ($N - R - P - R'' - N''$)¹³ sastoji od istih faza, istih posebnih zadataka, to sva poduzeća, bez obzira na razlike u poslovanju i razlike u veličini, imaju isti broj funkcija. Ono po čemu se poduzeća razlikuju nije broj funkcija, nego njihova organizacijska realizacija putem stručnih službi. Tako održavanje može kao organizacijska jedinica biti služba koja pokriva kompletnu djelatnost održavanja u poduzeću, a isto tako kao organizacijska jedinica može biti i odjel u službi proizvodnje ili unutar određenog proizvodnog pogona.

Izbor rješenja ovisit će o konkretnoj situaciji i o strategiji razvoja poduzeća u cjelini. Sve poslovne funkcije, npr. prema slici 2.1., trebaju obavljati niz aktivnosti kojima se postiže glavni cilj poduzeća. Naravno da su ciljevi funkcija definirani kao podciljevi poduzeća i da su nastali dekompozicijom glavnog cilja poduzeća (jednog ili više). Kako svako poduzeće živi u određenom okruženju koje više ili manje ima i određene utjecaje na uspješnost, potrebno je da organizacijska struktura bude dinamična. Razlog više za to jesu i različite promjene unutar poduzeća (novi procesi proizvodnje, novi tokovi materijala, potreba za drugom vrstom struke djelatnika, itd) koje zahtijevaju dinamičnu organizacijsku strukturu.

Kako je organizacijska struktura česta tema teoretičara organizacije, postoje o njoj različite definicije. Za ovaj rad vrijedi slijedeće određenje: "Organizacijska struktura je sveukupnost veza i odnosa između svih činilaca proizvodnje i poslovanja kao i sveukupnost veza i odnosa unutar svakog pojedinog činioca posebno. Organizacijska struktura je najvažniji dio svake organizacije, svakog poduzeća" /9/

2. 3. Elementi organizacijske strukture

¹² **Stručna služba** je organizacijska jedinica u kojoj se obavljaju jedna ili više osnovnih funkcija poduzeća (posebnih zadataka, kao na primjer: prodaja, nabava, proizvodnja), a može i samo dio neke funkcije (priprema proizvodnje, održavanje).

¹³ Oznake korištene u prikazivanju procesa proširene reprodukcije: N je uložena novčana sredstva na početku poslovno proizvodnog procesa, R je repromaterijal i sve ostalo što treba imati da se ide u proizvodni proces, zatim slijedi P proizvodnja, a nakon toga je R'' roba, rezultat proizvodnog i poslovnog procesa, a to je proizvod ili usluga. Na kraju je N'' ostvarena količina novčanih sredstava dobivena od realiziranih rezultata dotičnog procesa. Kada je N'' veće od N kaže se u načelu da se radi o procesu proširene reprodukcije.

Razni autori dijele organizaciju, znanstvenu organizaciju, organizaciju rada, i organizaciju poduzeća, po više pristupa, na elemente ili ključne faktore, što je, naravno, posljedica različitih koncepcija istraživača. Tako su, na primjer po M. Novaku /9/, elementi organizacije:

- organizacijska struktura,
- organizacijska sredstva,
- organizacijski postupci.

Uvjetnu **podjelu organizacije na elemente** dao je A. Vila /14/ i to:

- Veličina - najmanje dvije osobe; bez ljudi ne postoji organizacija. Minimalna veličina kod koje se može govoriti o organizaciji jesu dvije osobe, a to se naziva diada.
- Međusobna ovisnost - izoliran pojedinac ne predstavlja organizaciju niti daje mogućnost organiziranja. Čim postoje dvije osobe koje žele postići zajednički cilj, javlja se potreba međusobne ovisnosti i suradnje, a time se javlja i minimalna potreba za organiziranjem. Međusobna ovisnost javlja se sama po sebi, odmah čim pojedinac utvrdi da će udruživanjem s nekim svoje ciljeve lakše postići.
- Ulaz - svaki sustav ima nekakve granice, koje ga odvajaju od okruženja od kojega se po nečemu razlikuje; ta granica je definirana članovima tog sustava, lokacijom i sl. Input mora probiti te granice iz okoliša, a on se sastoji od: materijala, energije, informacija i u početku od sredstava rada.
- Pretvorba - to je prijelaz materijala, energije i informacija, od njihovog ulaska u sustav do njihovog izlaza, kako bi sustav ispunio cilj zbog kojeg postoji. Tijekom procesa transformacije postoje aktivnosti koordinacije i kontrole, koje će spriječiti odstupanja u cjelokupnom sustavu.
- Izlaz - znači transformirati materijal, energiju i informacije, čime se cjelokupni proces zatvara /France - Monge - Rossel. 1977/.
- Organizacija ima četiri osnovne značajke, a to su : a) koordinacija napora, b) zajednički cilj i namjera, c) podjela rada, d) hijerarhija autoriteta. /Kreitner 1992/.

O elementima organizacijske strukture postoji više podjela u ovisnosti o pristupu.

Ilustracije radi, H. Mintzberg organizacijsku strukturu poduzeća dijeli na sljedeće elemente /prema 9/:

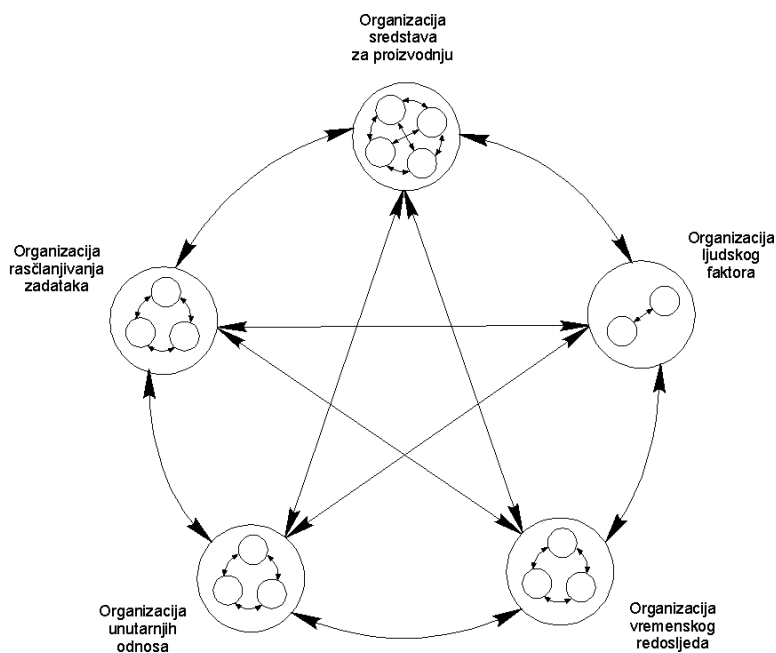
- a) operativni dio, koji čine svi izvršni radnici,
- b) strateški dio, koji čine vrhunsko rukovodstvo ili Top Management,
- c) srednji dio, koji čine rukovoditelji srednje razine , tzv Middle Management,
- d) tehnostruktura, koju čine stručnjaci s velikim stvarnim autoritetom (visoka razina znanja, profesionalnost) iako se nalaze izvan formalne organizacijske strukture rukovođenja,
- e) stožerni dio, čiji je zadatak pomaganje linijskom rukovodstvu. Iz ovoga se vidi da Mindzberg organizacijsku strukturu prihvća kao organizaciju rukovođenja, pa su njegovi elementi ustvari elementi organizacije rukovođenja.

M. Novak kao najvažnije elemente organizacijske strukture navodi: sredstva za rad, predmete rada i ljudski rad. Isti autor detaljno vidi pet elemenata organizacijske strukture / prema 9/:

- a) organizacija sredstava za proizvodnju i racionalno uređenje tvornice (tu spadaju organizacijska sredstva za rad, organizacijski problemi predmeta rada i organizacija unutarnjeg transporta),
- b) organizacija ljudskog faktora (obuhvaća sve probleme vezane za formiranje kolektiva zaposlenih i socijalizaciju ljudi u radnoj sredini),
- c) organizacija raščlanjivanja ili podjele zadataka sve do u pojedinosti (obuhvaća podjelu ukupnog zadatka poduzeća na posebne i pojedinačne zadatke),
- d) organizacija unutarnjih odnosa (obuhvaća problematiku organizacije upravljanja i organizacije rukovođenja, kao i ostalih međusobnih odnosa, i

e) organizacija vremenskog redoslijeda odvijanja poslova (obuhvaća istraživanje vremenske usklađenosti svih činilaca proizvodnje i čitavog tijeka proizvodnje i poslovanja.

Optimalna organizacija poduzeća, odnosno njene organizacijske strukture, podrazumijeva veze i odnose unutar svakog elementa posebno, kao i između samih elemenata, kako je to prikazano na slici 2.2. /9/



Slika 2.2. Veze i odnosi između elemenata organizacijske strukture, kao i unutar elemenata organizacijske strukture /9/

Brojnost netom navedenih i različitih određenja organizacijske strukture, ilustrira poznati problem međusobne nepovezanosti i nepreciznosti nekih spoznaja u teoriji organizacije¹⁴.

U skladu s osnovnim polazištima i pretpostavkama za ovaj rad može se preuzeti sljedeća podjela na elemente organizacije:

- organizacijska struktura,
- organizacijska sredstva
- organizacijski postupci /9/.

¹⁴ S obzirom na značenje pojmova i nazivlja u teoriji ali i u praksi organizacije, čini se razložnim o tom problemu provesti posebna istraživanja.

U ovom radu je osim o organizacijskoj strukturi, provedeno istraživanje i o organizacijskim postupcima, odnosno procesima. Pri tome i praksa pokazuje da veliki dio organizacijskih procesa ima važan utjecaj na oblikovanje organizacijske strukture, a vrijedi i obrnuto. Ovo posebno vrijedi sada, kada se ne može zamisliti upravljanje poslovnim i proizvodnim procesima bez primjene računala.

3. RAZVOJ FUNKCIJE ODRŽAVANJA

3.1. Funkcija održavanja

Za analizu razvoja funkcije održavanja potrebno je sagledati odnose proizvođača i korisnika opreme. Taj odnos doživljava promjene od početka izrade prvih parnih strojeva do danas, a može se podijeliti u tri osnovne faze:

1. Projektant i proizvođač opreme (često je to jedna osoba) izrađuje unikatnu opremu prema narudžbi kupca, a kasnije, za vrijeme eksploatacije, daje usluge održavanja, dok manje kvarove (kada je to moguće) popravljaju korisnik.
2. Dvadesetih godina ovog stoljeća počinje serijska proizvodnja automobila, a to znači da se pojavljuju i prvi standardni rezervni dijelovi. Automobili H. Forda nisu pouzdani, ali su jednostavni i praktički svaki korisnik može obavljati zahvate održavanja svog automobila. Uvođenjem serijske proizvodnje odvajaju se poslovi radnika na traci i radnika koji popravljaju instaliranu opremu. Na taj se način stvaraju održavatelji različitih profila koji obavljaju zadatke funkcije održavanja (uobičajno je to korektivno održavanje¹⁵) u poduzeću.
3. Održavanje kao organizacijska jedinica koja obavlja funkciju održavanja može se prepoznati u poduzeću nakon završetka Drugog svjetskog rata. Nove se spoznaje iz područja održavanja razvijaju u vojsci i vojnoj industriji (SAD) i počinje sve češća primjena u industriji. Tada, 1950-ih godina, počinje se razvijati preventivno održavanje¹⁶, čiji je razvoj inicirala vojska SAD. Prema A. Klijnu¹⁷, preventivno održavanje počinje se razvijati poslije Drugog svjetskog rata. Zanimljiv je njegov slijed promatranja povijesti održavanja:

“ Održavanje je staro koliko i ljudsko stvaranje artefakata. Logorska vatra morala se održavati ne samo zbog pripreme hrane, već i zbog sigurnosti.

¹⁵ Svi radovi djelatnika održavanja koji se obavljaju nakon što se pojavio kvar.

¹⁶ Skup radova održavanja koji je unaprijed planiran i propisan, a to znači da je svaki zahvat preventive definiran u pisanoj formi.

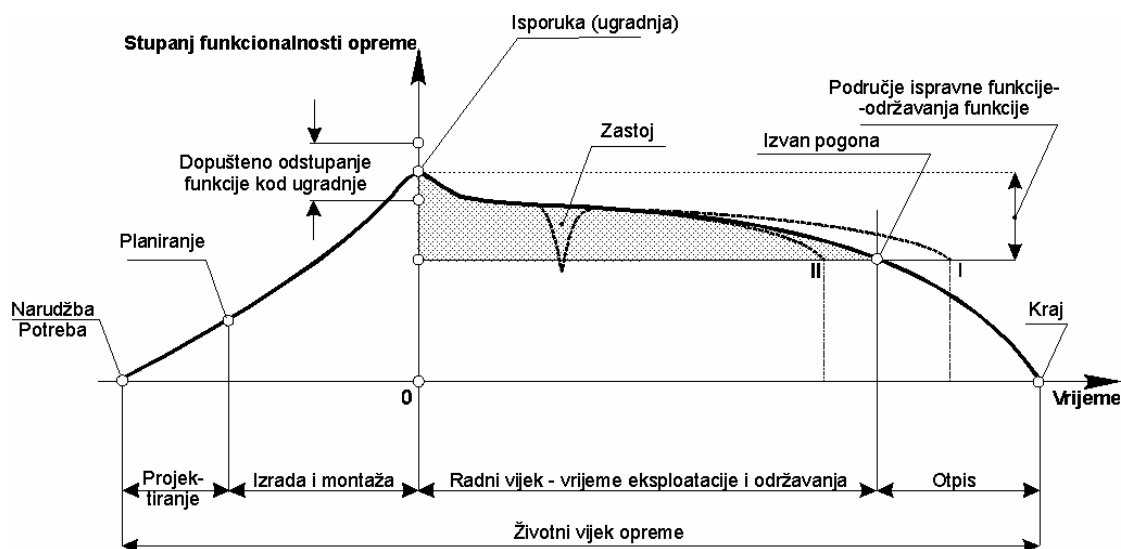
¹⁷ A. Klijn je predsjedatelj EFNMS-a i uvaženi član Nizozemskog društva održavatelja

Kameni vršak koplja i strelica morali su biti naoštreni, da bi ispunili svoju svrhu. Krov je morao biti nepromočiv.....i tako bi se moglo u nedogled nabrajati. Ukratko održavanje je radnja koju treba učiniti, da bi se neki predmet prilagodio određenoj situaciji gdje on može ispuniti svoju svrhu i udovoljiti standardima” /17/.

Preventivno održavanje 1960-ih godina postaje općeprihvaćeno načelo na kojem se stvara niz suvremenih koncepcija i modela održavanja.

Put do maksimalne raspoloživosti uz moguće povećanje eksploatacijske pouzdanosti, u bilo kojem poduzeću nije povezan s traženjem krivca za zastoje ili kvar, već s izborom i utvrđivanjem najbolje strategije u održavanju. Važni su i suradnja proizvodnje i održavanja, propisane tehnološke podloge procesa održavanja, te logistička potpora za osiguranje svih resursa: doknadni dijelovi i sklopovi, osoblje, strojevi i alati, informacije, prostor, i na kraju organizacija same djelatnosti održavanja.

Životni vijek opreme prema slici 3.1. počinje njenim projektiranjem prema željama - narudžbi investitora, nastavlja se izradom i nabavom dijelova i sklopova, montažom

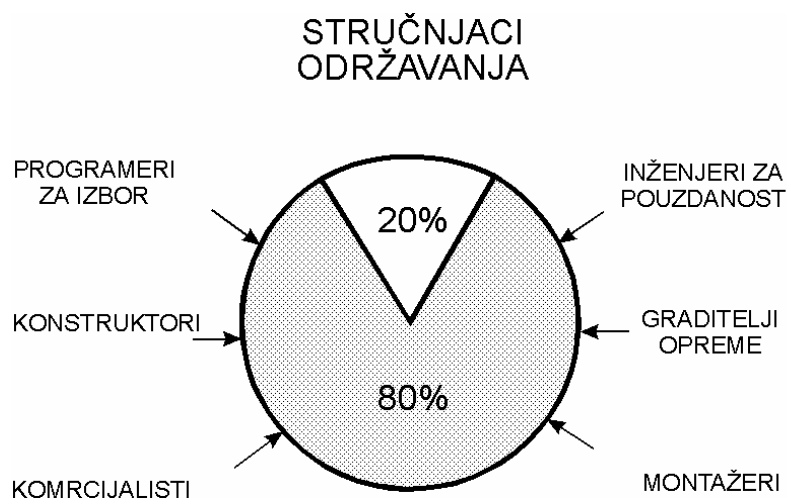


Slika 3.1. Stanje opreme u funkciji vremena /18/

kod proizvođača i na kraju po isporuci montažom i ugradnjom kod korisnika. Nakon toga slijedi razdoblje ispitavanja opreme kod korisnika (pokusna eksploatacija) kako bi se ustanovilo odgovara li isporučena oprema ugovorenim obvezama proizvođača tj ima li oprema odgovarajuće značajke kvalitete performanse.

Primopredajom opreme može započeti njen radni vijek i eksploatacija do otpisa. To je logično i najdulje vremensko razdoblje gdje se od opreme traži visoka raspoloživost, koju bi stručnjaci održavanja svojim aktivnostima trebali osigurati (na slici 3.1. to je osjenčani dio: stanje rada). Kao što to prikazuje krivulja na slici 3.1., tijekom vijeka normalne eksploatacije opremi pada radna sposobnost, a kad ona bude ispod donje granice ispravnog stanja po odabranoj strategiji i procesima održavanja, obavljat će se niz radova (planski popravci, zamjene sklopova, podešavanja i slično) kako bi se oprema vratila u ispravno stanje. U ovisnosti o pouzdanosti opreme i intenzitetu radova održavanja, krivulja stanja opreme (slika 3.1.) može blaže padati (I, veća pouzdanost, dobro odmjereni zahvati održavanja - dugi radni vijek) ili strmije (II, manja pouzdanost, loš izbor ili neredovito izvođenje procesa održavanja - kraći radni vijek).

Aktivnosti održavanja u užem smislu, obično se vezuju uz razdoblje eksploatacije opreme. U traženju novih rješenja uz koje će održavanje biti uspješnije D. Parkes (V. Britanija) pošao je od ideje da analizira sve faze u životnom vijeku opreme. Razlog tome je u mogućnosti utjecaja korisnika opreme u svim fazama životnog vijeka, a ne samo za vrijeme eksploatacije. U takvoj situaciji korisnik opreme ima veću sigurnost pri izboru i nabavi, lakše upravlja održavanjem opreme i ima veću mogućnost smanjenja troškova eksploatacije. Istražujući razloge zastoja i kvarova, a time i troškova eksploatacije i održavanja na opremi, Parkes je konstatirao da su glavni i najčešći razlozi za zastoje tijekom eksploatacije u vezi s: predstavnicima naručitelja, projektantima, proizvođačima i montažerima opreme, kako to prikazuje slika 3.2. /19/. Tim istraživanjem na industrijskoj opremi u V. Britaniji utvrđeno je da su predstavnici projektanta, proizvođača, montažera i investitora bili odgovorni za 80% ukupnih troškova održavanja opreme tijekom njenog radnog vijeka. Taj pristup bio je podloga D. Parkesu za predlaganje i uvođenje koncepcije održavanja koju je nazvao **Terotehnologija**, a osnovni je moto da stručnjaci održavanja sudjeluju u svim fazama života opreme (slike 3.1. i 3.4.). Pri izboru i nabavi nove opreme ne moraju, primjerice, stručnjaci održavanja biti osobno članovi investicijskog tima naručitelja, ali mogu svojim znanjem dati korisne sugestije i informacije (tehničke parametre) za izbor pravog proizvođača.



Slika 3.2. Utjecaj sudionika na troškove održavanja u životnom vijeku opreme

Jedan takav primjer analize vrijednosti koja se provodi ocjenjivanjem kvalitete pojedinog proizvođača s tehničkog stajališta prikazan je tablicom 3.1.

Tablica 3.1. Ocjenjivanje važnih značajki opreme u eksploataciji

Značajke opreme Proizvođač	Količina standardnih DD	Vrsta podmazivanja	Ciklusi izmjene skupih sklopova	znač ajka d	znač ajka e	znač ajka f	Suma bodova
I	2	3	4	5	6	7	8
A	5	4	4	4	3	5	25
B	3	3	3	4	4	4	21
C	4	2	1	4	5	2	18

Takva analiza vrijednosti najčešće je samo podloga za tehnički izbor, a za investicijski izbor analizu treba proširiti i drugim parametrima, kao npr: cijena opreme, mogućnost dobivanja kredita.

Sigurno je da bi održavatelji i korisnici opreme mogli i trebali na temelju vlastitih iskustava pomoći izboru kvalitetnog i pouzdanog proizvođača, kako bi kasnije za vrijeme eksploatacije bilo manje zastoja i kvarova, tj. kako bi se kupila pouzdana oprema ili pouzdani ključni sklopovi. Takva oprema bit će naravno skuplja, ali će se smanjiti troškovi zastoja, koji, na primjer u procesnoj industriji, mogu biti enormno veliki. Drugo rješenje je

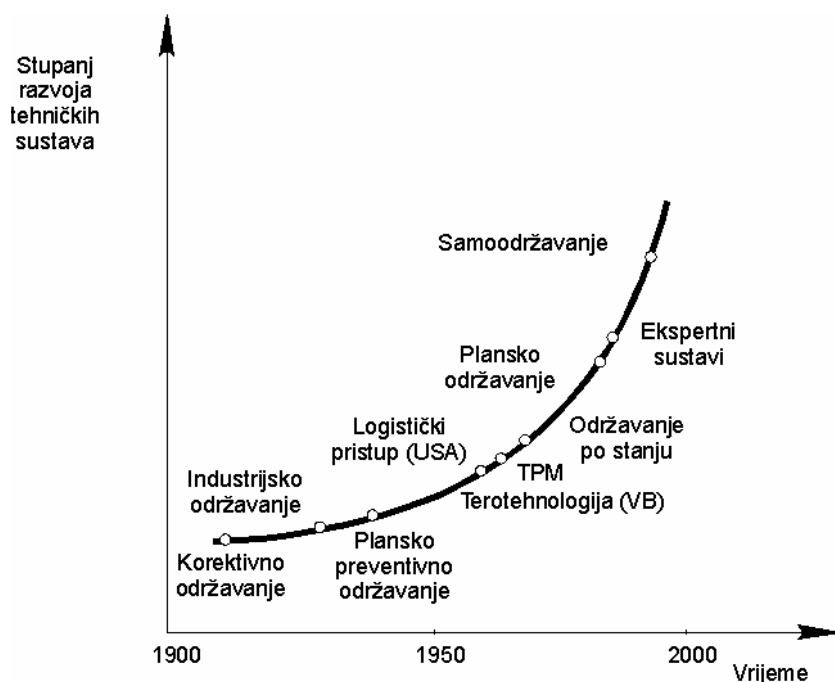
nabava manje pouzdane, a to znači i jeftinije opreme, pri čemu za vrijeme eksploatacije treba očekivati češće kvarove i veće troškove.

Može se zaključiti, kada se radi o procesnoj opremi (zastoji skupi, proizvodni proces treba više vremena za ponovno pokretanje, ekološka opasnost za okruženje itd) prednost ima skuplja i pouzdanija oprema. U slučaju da se radi o pojedinačnoj komadnoj proizvodnji mogu se izabrati jeftinija rješenja. Suvremeni pristupi i koncepcije održavanja to uzimaju u obzir.

3.2. Razvoj koncepcija i modela održavanja

Razvojem tehničkih sustava od početka ovog stoljeća potaknuto je i traženje rješenja, da tehnički sustavi budu u funkciji i da što dulje traju. To je evidentno na slici 3.1., gdje krivulja I formalno znači ostvarenje takvog zahtjeva. Od 1930-ih godina tehnička oprema postaje sve složenija, primjenjuju se elementi mjerne, regulacijske i upravljačke tehnike, pojavljuju se novi materijali i konstrukcijska rješenja. Usporedno s navedenim razvijaju se i tehnologije održavanja (Metalock, zavarivanje, lijepljenje, itd.) te instrumenti za utvrđivanje i mjerenje parametara važnih za ocjenu stanja ispitivane opreme i prognoziranje ponašanja opreme u budućnosti. Sve to pogodovalo je da se u svijetu razvije niz koncepcija i modela održavanja, koji su u literaturi poznati i pod nazivom organizacijska rješenja održavanja. Na slici 3. 3. navedena su u odnosu na stupanj razvoja tehničkih sustava, poznatija rješenja održavanja:

- korektivno,
- industrijsko,
- plansko - preventivno,
- terotehnoško,
- logističko,
- po stanju,
- CPO (Cjelovito Produktivno Održavanje) ili TPM (Total Productive Maintenance),
- plansko,
- ekspertni sustavi,
- samoodržavanje.



Slika 3.3. Razvoj koncepcija održavanja

Uz nabrojene modele i koncepcije, treba reći da u praksi postoji velik broj rješenja, odnosno modela održavanja, kojih su autori različite istraživačke i konzultantske tvrtke. U takvim se rješenjima, kao npr. EUT maintenance model¹⁸ /W.M.J. Geraerds/, Ljubljanski model¹⁹, plansko održavanje²⁰ i drugi, koriste i elementi iz netom nabrojenih koncepcija.

Korektivano održavanje opreme je najstarija koncepcija održavanja i svodi se na niz zahvata održavanja, koji se izvode nakon što je došlo do kvara. U ovoj koncepciji

osnovni oblik djelovanja uposlenih u održavanju je popravak kvarova na opremi, a od preventive je prisutno čišćenje i podmazivanje. Profesor W.M.J. Geraerds iz Nizozemske na 1. evropskom kongresu o održavanju u Wiesbadenu 1972. g. taj pristup je nazvao "*čekaj i vidi*" /6/. Danas se on ne koristi često, uglavnom samo za manje važnu, tj. pomoćnu opremu, kod koje zastoj ne utječe izravno na odvijanje proizvodnog ili poslovnog procesa.

¹⁸ Model održavanja koji je razradio W. M. J. Geraerds sa suradnicima na Eindhoven University of Technology

¹⁹ Model održavanja koji je razradio E. Rejec sa suradnicima u Zavodu za produktivnost dela u Ljubljani /6/

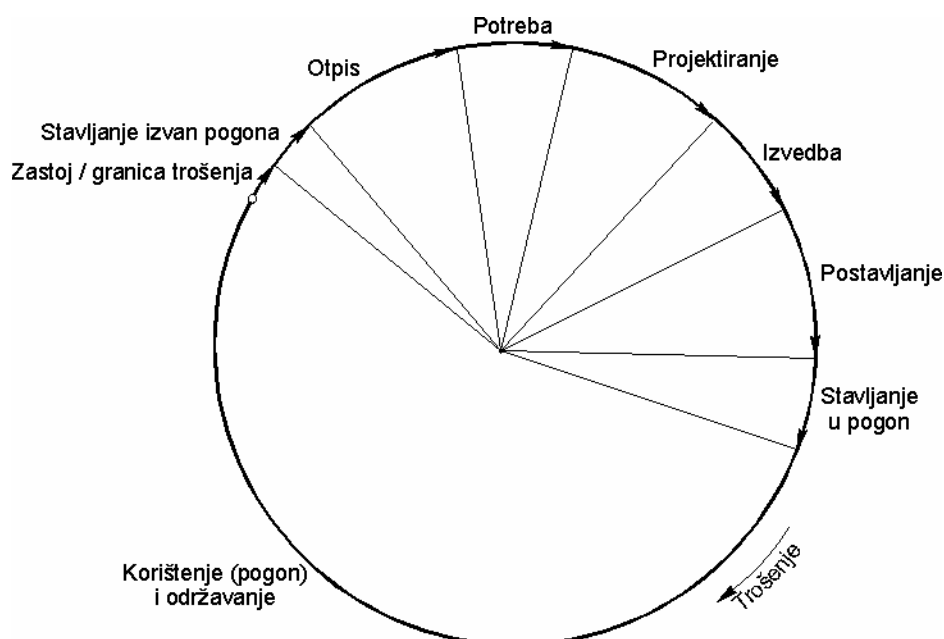
²⁰ Model održavanja koji je razradio I. Čala sa suradnicima na FSB u Zagrebu i objavio u časopisu OMO br. 4-5 1982.godine

Industrijsko održavanje (neki autori ga nazivaju oportunističko održavanje) nalaže da se zahvati održavanja ne rade dok ne dođe do kvara, s izuzetkom svakodnevne brige i podmazivanja (to je isto kao i kod korektivne koncepcije). Kada se na određenim sklopovima i pozicijama pojavi kvar uvodi se za tu opremu preventivno održavanje, ako se smatra korisnim za sprečavanja budućih kvarova, a uz to se i dalje obavljaju popravci kvarova /6/.

Plansko - preventivno održavanje (kraće preventivno održavanje)²¹ pojavljuje se i primjenjuje u Americi nakon Drugog svjetskog rata. Ovu koncepciju inicirala je vojska i angažirala na tom projektu veliki broj vlastitih stručnjaka i raznih konzultantskih tvrtki. Bit je ovog pristupa u obavljanju niza zahvata održavanja prema unaprijed utvrđenom planu, prije nego dođe do kvara, odnosno zastoja. Dakle, održavatelji obavljaju niz cikličkih zahvata koji trebaju biti dogovoreni s proizvodnjom, kako bi određena oprema mogla biti zaustavljena zbog obavljanja neophodne preventive. Za takve je zahvate H. Grothus /20/, uz pomoć velikog broja stručnjaka, izradio univerzalne kataloge svih pozicija i sklopova s preporukama, što se u određenim ciklusima treba preventivno raditi na opremi. Ova koncepcija, osim što angažira velika sredstva (materijal, doknadni dijelovi i stručnjaci održavanja), pretpostavlja i zaustavljanje opreme, što je u situaciji npr. kontinuirane proizvodnje nepovoljno. Iz Amerike se ova koncepcija proširila po cijelom svijetu i bila je podloga svim kasnije razvijenim suvremenim koncepcijama. Tu su koncepciju kasnije vrlo detaljno razradili stručnjaci bivšeg SSSR za primjenu u čeličanama, a kasnije i u ostaloj industriji (na tom pristupu učili su svi kasnije poznati autori novih koncepcija ili pristupa, kao što su B. Blanchard (SAD), Dennis Parkes (VB) i Saiici Nakajima (Japan)).

Terotehnološki pristup (djelomice je opisan u točki 3.1. ovoga rada) nastao je 1970-ih godina, a definira da stručnjaci održavanja svojim znanjem izravno ili posredno sudjeluju u svim fazama životnog vijeka opreme, prema slici 3.4.

²¹ Engleski originalan naziv: Preventive maintenance (PM)



Slika 3.4 Faze životnog vijeka opreme /4/

Definicija Terotehnologije, prema D. Parkesu slobodno prevedena glasi: “Terotehnologija je stručno područje koje objedinjuje problematiku upravljanja, financija, tehničkih i ostalih disciplina primijenjenih za opremu u cilju dobrog gospodarenja za vrijeme ekonomskog vijeka trajanja te opreme”.

Logistička koncepcija nastala je u Americi otprilike u isto vrijeme kad i terotehnološka koncepcija u Europi (1970-ih godina). Ideje za ovu koncepciju u svezi su s logističkom potporom u vojsci, gdje je ona bitna za uspješnost vojnih akcija. U području održavanja opreme radi se o logističkoj podršci eksploataciji opreme u gospodarskim i inim poduzećima. Autor je tog pristupa Benjamin S. Blanchard, radi uspješnog održavanja, obuhvatio cijeli životni vijek opreme od prvih ideja o projektiranju, proizvodnji, montaži, te na kraju njenom korištenju.

Kroz taj dugi proces osnovna je ideja učiniti sve u prve tri faze, kako bi oprema bila podobna za održavanje i imala visok stupanj pouzdanosti, a sve zbog učinkovite i ekonomske eksploatacije.

Održavanje po stanju²² (Condition Base Maintenance) je dio preventivnog održavanja, a nastalo je početkom 1970-ih godina u SAD, kao određeni sustavni pristup zahvaljujući razvoju elektroničkih stacionarnih i prijenosnih instrumenata. Tim je instrumentima moguće mjerenje niza parametara bitnih za ocjenjivanje stanja opreme te temeljem toga donošenje odluka o potrebnom zahvatu održavanja. Prikupljanje ovako mjerenih veličina, njihova obrada, te na kraju točna interpretacija rezultata, pomaže i u prognoziranju stanja opreme u budućnosti. Dakle, dok se kod preventivnih cikličkih zahvata unaprijed znalo što će se raditi, ovdje se unaprijed znaju ciklusi mjerenja, ali se zahvati održavanja doziraju prema dobivenim rezultatima. Taj pristup u odnosu na prethodne ima veći utjecaj na smanjenje troškova održavanja i zastoja.

Cjelovito produktivno održavanje - CPO (ili izvorno **TPM**) početkom 1970-ih godina nastalo je u Japanu i počelo se primjenjivati u visokoautomatiziranoj i masovnoj proizvodnji (automobilska industrija Toyota). Ideja autora Seiici Nakajime je povjeravanje niza zahvata održavanja proizvodnim radnicima, koji su organizirani u malim skupinama, a jasno su im definirani inputi i outputi. Takvim se rješenjem potencira motivacija radnika za maksimalnu raspoloživost opreme. Naime, maksimalna raspoloživost pretpostavlja veliku učinkovitost, a za radnika to znači i veću zaradu /3/. Ovaj model ili koncepciju održavanja 1980-ih godina počinju primjenjivati i razvijene zemlje Zapada (Francuska, SAD, Njemačka itd). Među prvima primijenila ga je francuska tvrtka Renault, a rezultat je bio smanjenje zastoja opreme za 20 do 30%.

Plansko održavanje je koncepcija koja se često pojavljuje u praksi, a predstavlja kombinaciju korektivnog i preventivnog održavanja u omjeru koji najbolje odgovara određenom poduzeću. Ovaj pristup inicirao je autor ovog rada i objavio kod nas 1982. godine. Koncepcija je nastala temeljem konzultantskog rada, suradnje s gosp. D. Parkesom i terminološke podjele održavanju u BS (British standard). Stručnjacima održavanja ostaje da osim korektivnog održavanja izaberu neki od modula preventive, kao što su: planski popravci, preventivni pregledi, plansko podmazivanje, traženje i otklanjanje slabih mjesta, održavanje po stanju i drugi suvremeni pristupi održavanju. Takav je izbor ovisan o zahtjevima proizvođača opreme, zahtjevima kupca, odnosno procesa

²² Održavanje po stanju, originalno ime je Condition Base Maintenance

eksploatacije, raspoloživom stručnom kadru, značajkama opreme i slično. Struktura djelatnosti planskog održavanja prikazana je na slici 3.5.



Slika 3. 5. Struktura djelatnosti planskog održavanja

Ekspertni sustavi održavanja javljaju se 1980-ih godina i to zahvaljujući razvoju hardwarea i softwarea, pa je na prvim obradnim centrima, brodovima, procesnim postrojenjima, i sličnim proizvodima bilo moguće, na temelju kreirane baze podataka (mogući kvarovi, znanja stručnjaka o mogućim rješenjima), doći do informacija o potrebnim zahvatima održavanja.

Jedna od koncepcija za koju se smatra da je sljedeći korak u razvoju jest **Samoodržavanje**, u kojem će niz ekspertnih sustava davati informaciju upravljačkom sustavu o kvaru na nekoj automatiziranoj tehnološkoj liniji u pravilu sastavljenoj od modula. Ta informacija potaknut će zamjenu neispravnog modula koju će obaviti robot, dok će se neispravni modul popraviti u specijaliziranim radionicama održavanja. Nakon vrlo kratkog zastoja, proizvodna linija nastavlja rad. Zamjena modula ili sklopova u održavanju se naziva sklopna ili agregatna zamjena, bez obzira na to obavlja li je radnik ili robot.

Na kraju ovog sažetog pregleda razvoja održavanja treba naglasiti da su logistički, terotehnološki i TPM pristup nastajali otprilike u isto vrijeme na tri kontinenta, da su

nastali sakupljanjem iskustva o preventivnom održavanju PM (Preventive Maintenance), a kasnije PM (Productive maintenance) i da su im svima isti ciljevi:

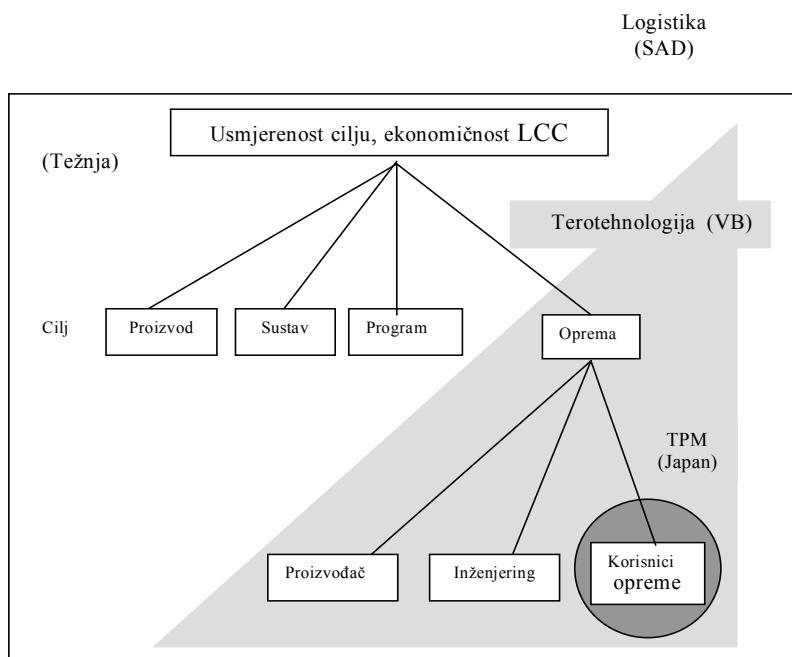
maksimizacija raspoloživosti opreme s minimizacijom troškova održavanja

Koncepcije održavanja opreme nisu teorijska saznanja s velikim stupnjem egzaktnosti. Takav se zaključak može dobiti i nakon kritičke analize svake od koncepcija. To se može ilustrirati sljedećim pitanjem i sažetim odgovorom:

Može li se izvorni japanski TPM na odgovarajući način primijeniti bilo gdje u svijetu?

Izvorne spoznaje TPM čvrsto su povezane s određenom civilizacijom, njenom kulturom, filozofijom i svim drugim posebnostima. Radi primjene TPM na Zapadu nužne su prilagodbe, nema jednoznačnog preslikavanja niti izravne primjene TPM-a u izvornom obliku. Tome u prilog idu i informacije s kongresa održavanja u Kölnu u jesen 1997. godine gdje je izloženo više referata o TPM na Zapadu, a posebno je interesantan članak G. Stappena gdje govori o FTPM (Fordov TPM) kao specifično kreiranom rješenju u automobilske industrije /21/. (Na temelju poznatih podataka čini se da ostaje otvoren problem: Uspješnost Japanaca u Japanu i uspješnost Japanaca u SAD-u ?).

U svijetu priznati autor na području održavanja Saiici Nakajima dao je u svojoj knjizi /3/ zanimljivu vizualnu interpretaciju odnosa navedenih triju pristupa (slika 3.6.).



Slika 3.6. Odnosi između logističkog i terotehnološkog pristupa i TPM /3/

Na slici se vidi da logistička koncepcija teži ekonomičnosti životnog ciklusa opreme imajući u vidu sve segmente od stvaranja opreme do njenog otpisa, dok terotehnologija obuhvaća samo probleme vezane uz opremu, tj. proizvođača, inženjering i korisnika opreme. Na kraju se vidi da je područje djelovanja TPM vezano uz korisnika opreme. Po svemu što se do sada zna, proizlazi da je vrlo teško naći razlike između logističkog i terotehnološkog pristupa, a u konačnici i TPM hoće iskoristiti znanja održavanja za donošenje tehnički boljih odluka kod nabave opreme, tako da ovaj prikaz nije slika stvarnog stanja u praksi. S tom postavkom slaže se i H. Grothus, prema kojem se TPM u engleskoj naziva Terotehnologija /22/.

Poznato je (a implicate sadržano na slici 3.1.) da za održavanje industrijske opreme veliko značenje ima veza korisnika i proizvođača. **Tijek informacija između proizvođača i korisnika opreme** počinje na temelju ponude ili zahtjeva za ponudom. Često prije tih kontakata proizvođač organizira prezentaciju ili prospektnim materijalima obavještava potencijalnog kupca o svojoj opremi. Kod izbora nove opreme kupac može od proizvođača uz ponudu tražiti i sljedeću dokumentaciju:

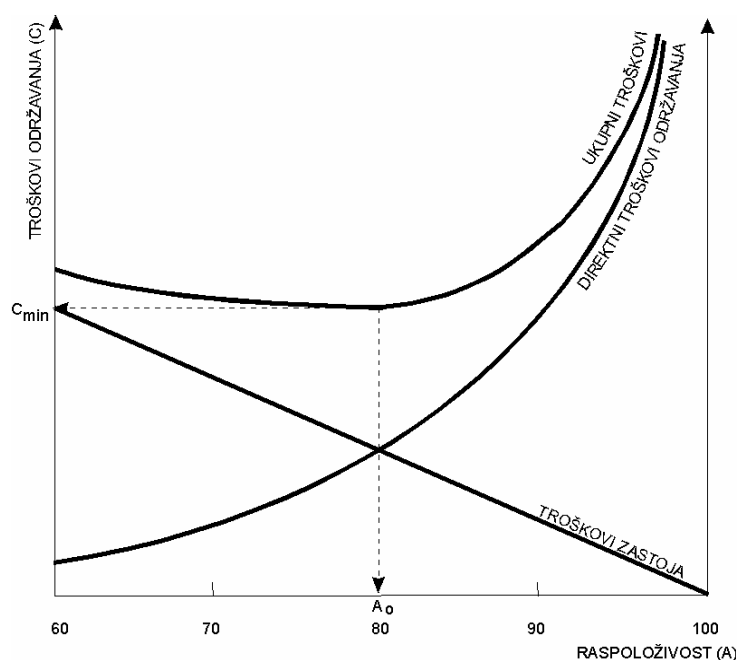
- detaljan opis opreme ili osnovne sheme principa rada,

- prospekte ili druge komercijalne podloge i informacije,
- sugestije o rasporedu opreme unutar proizvodne linije,
- pregled pribora i alata i njihove sheme,
- podloge za upravljačku i pogonsku opremu (hidraulična, pneumatska, električna),
- globalne upute za rukovanje opremom.

U praksi je uobičajeno da nakon izbora kupac uz opremu, od proizvođača (što se može i ugovorom tražiti) treba dobiti kompletnu i preciznu dokumentaciju, kao što je lista DD, upute za rukovanje, upute za podmazivanje, sheme sastavljanja itd. Isto tako proizvođač, ako je to potrebno, obavlja i radove u garancijskom roku (po ugovoru možda i kasnije). Ovim opisom pojednostavljeno je definiran tijek informacija od proizvođača prema korisniku opreme, što nije čest slučaj za vezu u suprotnom smjeru, od korisnika prema proizvođaču.

O čemu se tu radi, koje su to **važne informacije koje proizvođaču trebaju** od korisnika opreme?

Ponajprije su to informacije o stanju opreme u procesu, odnosno o njenom ponašanju za vrijeme korištenja i održavanja. Za razvoj i unapređenje vlastitih proizvoda (opreme) to mogu biti vrlo korisne informacije koje bi proizvođač trebao od korisnika. Često se u praksi događa da stručna ekipa održavanja na određenoj instaliranoj opremi u svojoj tvornici pronade slaba mjesta i obavi rekonstrukciju. Za proizvođača opreme bilo bi dragocjeno da o takvim uspješnim rješenjima dobije informacije. Evidentno je da za dvosmjerni tijek informacija između proizvođača i korisnika opreme ima dovoljno razloga s jedne i druge strane (ali su motivi i cijene različite). Svakom je poduzeću u interesu da konkretan izbor jedne od koncepcija održavanja rezultira što manjim troškovima održavanja, a da oprema bude pouzdana. Na slici 3.7. kvalitativno je prikazano kretanje troškova održavanja i troškova zastoja, ovisno o raspoloživosti opreme. Očito je prema slici 3.7., da kod maksimalne raspoloživosti (100%) nema troškova zastoja, ali da su ukupni troškovi održavanja najveći. Za praksu je važno odabrati optimalnu raspoloživost A_0 po kriteriju minimalnih ukupnih troškova (C_{\min}).

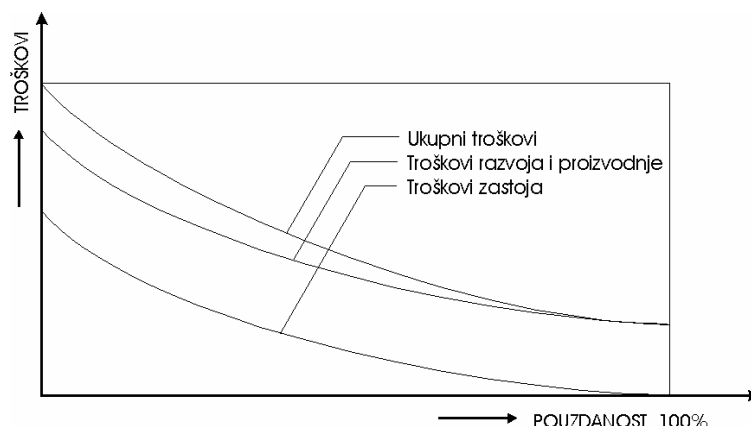


Slika 3. 7. Odnos troškova održavanja i raspoloživosti

Na slici je vidljivo prikazano da troškovi zastoja linearno rastu s padom raspoloživosti. To ne mora biti uvijek tako, naime postoji mogućnost gubitka tržišta (plasman) u slučaju niske raspoloživosti, kao na primjer: nemogućnost isporuke ugovorene robe na vrijeme, pa u tom slučaju i gubitak kupca, što je svakako veliki gubitak za poduzeće, pa ti troškovi zastoja mogu biti mnogostruko veći od prikaza na slici.

Učinkovitost procesa održavanja, ili šire učinkovitost (uspješnost) djelatnosti održavanja, govori o optimalnim troškovima održavanja, tj. eksploatacije opreme u odnosu na raspoloživost ili pouzdanost. Kada se o uspješnosti govori gospodarskim rječnikom često se koristi pojam ekonomičnosti kao odnos ostvarenih učinaka i utrošenih elemenata /23/. Troškovi održavanja mogu se izračunati, ali učinci održavanja vrlo teško. Ekonomičnost održavanja se rijetko dokazuje kroz maksimizaciju učinaka, već se ocjenjuje minimizacijom troškova. Danas postoje dva koncepta rješenja ovog problema, a prvi je spomenuti koncept optimalnih ukupnih troškova (slika 3.7.) koji često pokriva sadašnje stanje troškova održavanja u odnosu na raspoloživost ili pouzdanost opreme. Iz njega je jasno da se povećanje pouzdanosti i raspoloživosti može ostvariti većim ulaganjem u djelatnost održavanja (DD, materijal i uloženi rad). Takav pristup, uzimajući u obzir i troškove zastoja, obrađuje H.J. Warnecke /24/ i izrađuje model minimizacije ukupnih

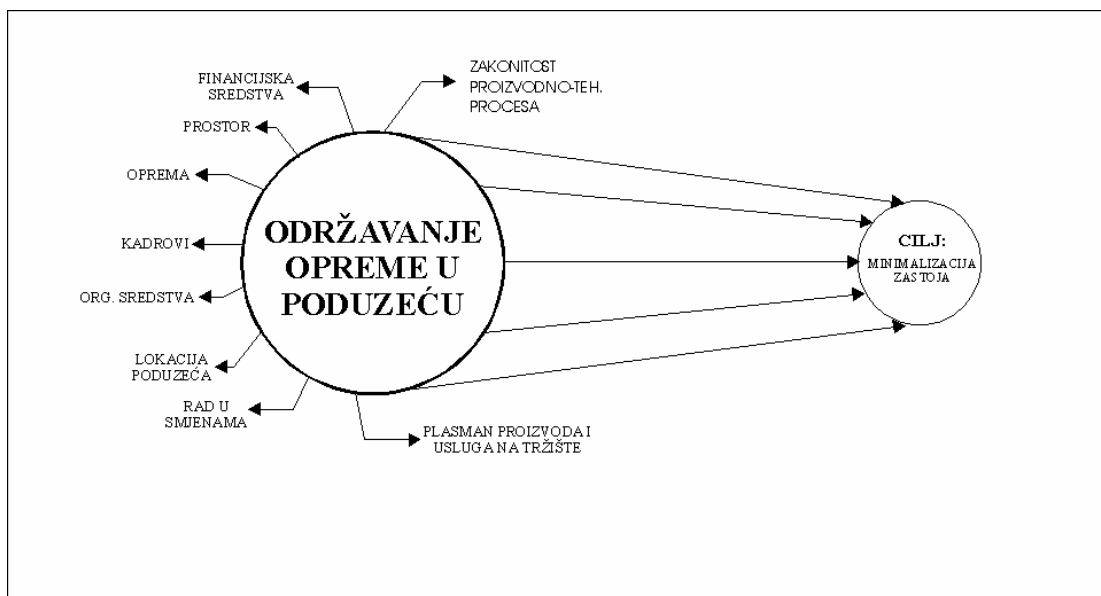
troškova. Druga moderna koncepcija je model opadajućih troškova koje lansira W.E. Deming /25/, a ključno je to da se odbacuje stara ideja da visoka pouzdanost sustava i visoka razina održavanja podrazumijeva i visoke troškove. Taj pristup sugerira da se pronađu uzroci zastoja (pozicije i sklopovi) te da se uzrok timski riješi pa tada ulaganje u taj rad nije trošak već investicija u razvoj opreme koja će imati veću raspoloživost. Na slici 3. 8. kvantitativno je prikazan model opadajućih troškova.



Slika 3.8. Kvalitativni prikaz troškova održavanja u ovisnosti o pouzdanosti /25/

3. 3. Strategija održavanja

Nakon pregleda različitih koncepcija i modela, logično je teorijsko (ali i za praksu) važno pitanje izbora najboljeg rješenja djelatnosti održavanja u kojem konkretnom slučaju. Pri donošenju takve odluke treba odrediti osnovni cilj, koji traži: minimalan zastoj opreme i optimalan utrošak svih potrebnih resursa. Na slici 3.9. prikazani su svi utjecajni čimbenici na izbor odgovarajuće strategije održavanja. Uz navedeno, jedna od važnih spoznaja za donošenje odluke utemeljena je i na podacima o radu i zastojima u proteklom razdoblju za opremu.



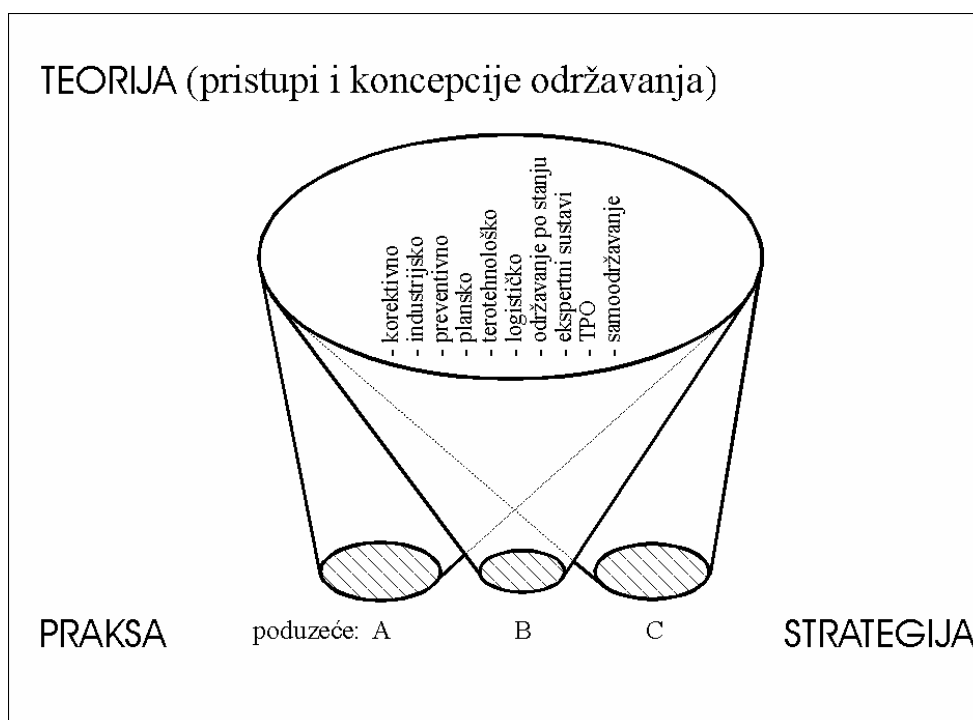
Sl. 3. 9. Utjecajni čimbenici na djelatnost održavanja

Pomoću takvih podataka može se izračunati srednje vrijeme između dva kvara (SVIK ili MTBF)²³. Manje vrijednosti SVIK-a ukazuju da se radi o strojevima s učestalim kvarovima i obratno. Recipročna vrijednost SVIK-a predstavlja parametar koji se definira kao intenzitet kvarova (λ). Na temelju tih parametara i poznatog vremena eksploatacije može se izračunati eksploatacijska pouzdanost²⁴ (o kojoj će biti više riječi u potpoglavlju 3.5.).

Za izbor najbolje strategije održavanja u određenom poduzeću nema gotova recepta. Najbolja strategija ili optimalna strategija u praksi najčešće sadrži kombinacije različitih pristupa i koncepcija. To je zorno ilustrirano na slici 3.10. Naglašeno je da ukupna ulazna površina lijevka predstavlja sve teorijske koncepcije i pristupe zajedno, a da je njegova izlazna površina veličina jedne konkretne strategije održavanja u jednom poduzeću. Svako poduzeće (A, B ili C) odabere svoju strategiju održavanja, koja predstavlja unikatnu kombinaciju teorijskih koncepcija i pristupa.

²³ Prosječni vremenski interval između dva kvara, a kratica je SVIK ili u engleskom govornom području MTBF (Mean-time-between failures).

²⁴ Pojam eksploatacijska pouzdanost novijeg je datuma, a uveo ga je 1985. godine autor ovoga rada /26/



Slika 3.10. Izbor strategija održavanja opreme

Za ilustraciju izabrano rješenje može biti takvo da se na određenim dijelovima (sklopovima) opreme mogu provoditi preventivni pregledi, na nekim drugim sklopovima može se primijeniti metoda održavanja po stanju, na svima obavljati plansko podmazivanje, a na svim važnim automatiziranim tehnološkim linijama uključiti proizvodne radnike u radove CPO. Tako odabrana strategija je optimalna sve dok se ne promijene pojedini uvjeti i ograničenja. Njihovom promjenom odabrana strategija postaje suboptimalna, a to znači da treba definirati novu optimalnu strategiju ili korigirati postojeću.

3.4. Značajke i ocjena kvalitete opreme

Poznato je da svaki proizvod, sa stajališta korisnika, mora biti odgovarajuće kvalitete i podoban za upotrebu. U užem smislu (odnosi se na vrijeme od projektiranja do proizvodnje gotovog proizvoda), kvaliteta se iskazuje ocjenom mjerljivih i atributivnih značajki [27]. Mjerljive značajke su identične mjernim veličinama, a atributivne značajke predstavljaju određena svojstva i ne mogu se mjeriti.

Za korisnika opreme je važna njena *podobnost za upotrebu*, koja uključuje veći broj parametara nego kvaliteta u užem smislu.

Kod odlučivanja o izboru opreme svaki kupac se suočava s problemima definiranja i načina provjere kvalitete nove opreme. Tome mogu pomoći određena iskustvena rješenja koja je definirala praksa: snimanjem i praćenjem stanja postojeće opreme istih proizvođača. Ponekad je moguće, a bilo bi korisno i za kupca, ukazivanje proizvođaču na slaba mjesta (pozicije i sklopovi čija je stopa zastoja veća od uobičajne). Osim vlastitoga iskustva korisna su i iskustva drugih korisnika opreme, što se može doznati preko stručnih radova ili u izravnom kontaktu sa stručnjacima održavanja u drugim poduzećima. Na kraju važne su i preporuke i jamstva proizvođača opreme, što se može i treba do detalja definirati pri sklapanju ugovora. U nekim su zemljama standardima definirane obveze proizvođača opreme prilikom njene isporuke, kao što je to u Njemačkoj, V. Britaniji i drugdje²⁵.

Sa stanovišta ocjene savršenosti proizvoda među klasičnim kriterijima najpoznatiji su funkcionalnost, cijena, pouzdanost i troškovi eksploatacije proizvoda /28/. Vrijednost proizvoda može se izraziti u ovisnosti od njegove savršenosti, pri čemu su osnovni tehnički činitelji:

- funkcionalnost (projektirana i ostvarena),
- tehnološkičnost (predviđena i ostvarena),
- eksploataбилnost,
- regenerativnost /28/.

²⁵ Primjer za ovakav pristup ugovaranju i isporuci može se prepoznati kod isporuke specijalnih obradnih strojeva (primjenjuju se u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji za brzo obavljanje jedne ili više operacija u jednom zahvatu), gdje se i plaćanje računa po ugovoru veže uz određene faze finalizacije proizvoda. Tako se na primjer izrada i prihvaćanje projekta konstrukcijskog rješenja naplaćuje 20- 30% od ukupne cijene, slijedi još 40 do 50% isplate kada je specijalni obradni stroj izrađen i montiran kod proizvođača (zadovoljava planiranu funkciju), a ostatak se isplaćuje nakon 1 do 2 mjeseca rada kod korisnika koji sada može precizno odlučiti je li dobio to što je ugovoreno, a ako nije, traži dotjerivanje konačnog rješenja.

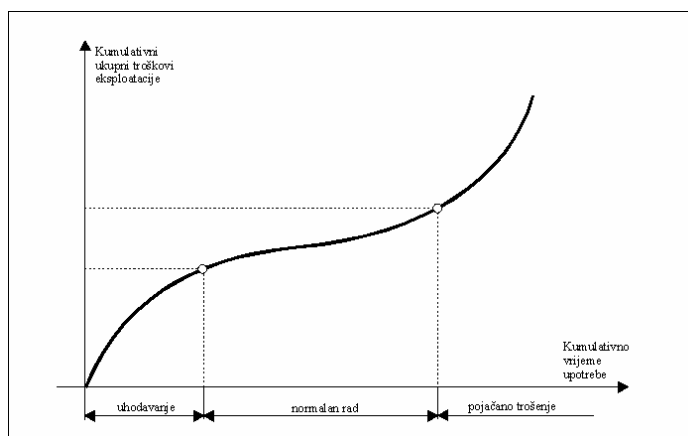
Osim navedenih za cijeli životni vijek jednog proizvoda, a to znači i za održavanje važni su i drugi kriteriji kao npr:

- proizvodnost,
- fleksibilnost,
- sigurnost i dr.

S ekonomskog stajališta proizvođača važna je npr. tehnološkičnost, dok je sa stajališta korisnika opreme od izuzetnog značenja eksploataбилnost. Ova značajka opisuje stupanj prilagođenosti proizvoda za eksploataciju, a najbolje se izražava u troškovima koji nastaju tijekom vijeka upotrebe. Što su za proizvod ukupni troškovi u tom razdoblju manji, time je bolja njegova eksploataбилnost. U ukupnim troškovima najznačajniji su:

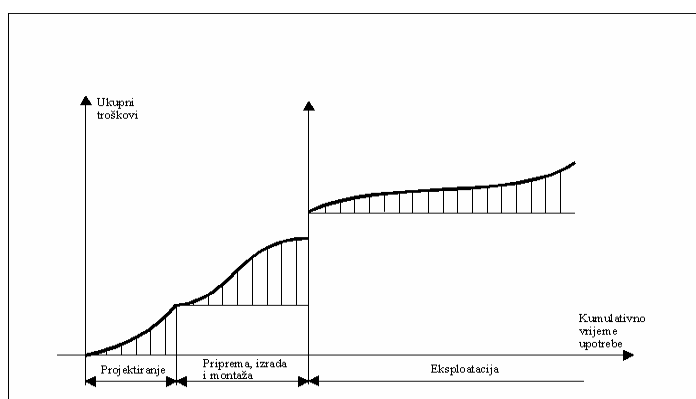
- troškovi za pogonsku energiju,
- troškovi za održavanje (preventivno i korektivno),
- troškovi zbog zastoja,
- troškovi za pomoćni pogonski materijal.

U zavisnosti od kumulativnog vremena upotrebe proizvoda, zakonomjernost promjene ukupnih troškova eksploatacije može se kvalitativno prikazati na slici 3.11.



Slika 3.11. Zakonomjernost troškova eksploatacije /28/

Za potpuniju predodžbu o ukupnim troškovima koji su vezani uz određeni proizvod može poslužiti kvalitativni prikaz na slici 3.12.



Slika 3.12. Ukupni troškovi tijekom životnog vijeka proizvoda /28/

Od suvremenih značajki kvalitete opreme najvažnije su: raspoloživost²⁶,

pouzdanost²⁷ efektivnost²⁸ /29, 30 i 31/ i sposobnost za održavanje²⁹ /6/ (kao mjera ovih značajki često se koriste indeksi, koeficijenti, postoci).

Raspoloživost i pouzdanost najčešće se koriste u praksi. Raspoloživost opreme je njena sposobnost da ispravno funkcionira u određenom vremenu, računski slijedi iz odnosa između ostvarnog vremena ispravnog rada te opreme i ukupnog teorijskog vremena.

²⁶ Eng. Availability, Njem. Verfügbarkaeit, odnos ispravnog rada u satima i ukupnog teoretskog (mogućeg) vremena rada opreme. Prema MIL STD 721 B raspoloživost je : Stupanj u kojem je neki element ili tehnički sustav u operativnom i upotrebljivom stanju na početku misije, ako misija počinje u neodređeno vrijeme. Zapravo to je detaljnije razrađen pojam gotovosti (spremnosti) tehničkog sustava za rad u datom vremenu $G(t)$. Raspoloživost se pojavljuje u tri varijante/29/: vlastita raspoloživost opreme A_i , kao odnos SVIK-a (MTBF) i sume SVIK-a i srednjeg vremena korektivnog održavanja (M_{ct} , mean corrective maintenance), slijedi postignuta raspoloživost, koja je odnos SVIO (srednje vrijeme između radova održavanja) ili MTBM (mean time time between maintenance) i sume SVIO sa srednjim aktivnim vremenom trajanja radova održavanja M (mean active between maintenance), te konačno operativna raspoloživost koja je odnos SVIO-a i sume SVIO i srednjeg vremena u kojem je oprema izvan upotrebe (MDT maintenance downtime).

²⁷ Eng. Reliability, Njem. Zuverlässigkeit, Vjerojatnost da će oprema u određenim uvjetima i u određenom vremenu ispuniti planirani zadatak. Prema /29/ navode se još dvije definicije pouzdanosti, a to su po MIL STD 721 B, gdje se pod pouzdanošću podrazumijeva vjerojatnost da će neki predmet (oprema) svoju namjensku funkciju obavljati u datom intervalu i pod datim uvjetima. Druga je po DIN 40042 iz 1970. godine gdje je pouzdanost sposobnost nekog proizvoda (opreme) da zadovolji u toku primjene, uvjetovane zahtjevima koji se postavljaju na ponašanje ili održavanje njihovih značajki, za planirano trajanje.

²⁸ Eng. System Effectiveness - $E(t)$, a ta je značajka umnožak pouzdanosti $R(t)$, gotovosti ili (operativne raspoloživosti A_o) i funkcionalne podobnosti FP .

²⁹ Eng. Maintainability, sposobnost opreme da se u određenom vremenskom intervalu popravi, a može se izračunati iz relacije $M=1-e^{-\mu t_m}$, gdje je μ broj popravaka u jedinici vremena, a t_m dopušteno prosječno vrijeme za obavljanje popravka /6/.

Uobičajno je da se taj odnos izražava u postocima. Tako je na primjer za opremu koja je radila u jednom danu 18 sati raspoloživost:

$$A(t) = \frac{t_u}{t_u + t_z} = \frac{18}{18 + 6} \cdot 100 = 75\%$$

t_u - ukupno vrijeme rada

t_z - ukupno vrijeme trajanja popravka

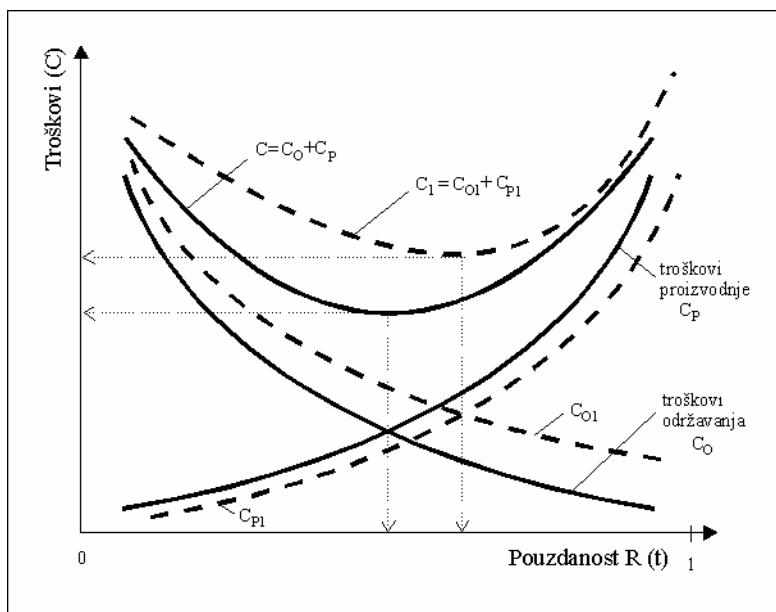
$(t_u + t_z)$ - teorijsko vrijeme rada

Na dijagramu (slika 3.7.) prikazana je ovisnost troškova zastoja i troškova održavanja o veličini raspoloživosti. Zna se da je uz minimalne ukupne troškove raspoloživost optimalna, a ona može i ne mora zadovoljiti zahtjeve poduzeća. Logično je da su za veću raspoloživost potrebna i veća ulaganja u održavanje (slika 3.7.). Odgovor na pitanje u koju vrstu zahvata ulagati, može se dobiti obradom parametara s kojima se računa eksploatacijska pouzdanost.

Kod jednog tehničkog sustava mogu se razlikovati tri vrste (razine) pouzdanosti, a to su:

- projektirana pouzdanost opreme (teorijska),
- ostvarena pouzdanost nove opreme kod proizvođača (statična i fiksna),
- eksploatacijska pouzdanost instalirane opreme proračunata za vrijeme eksploatacije kod korisnika (dinamična).

Pouzdanost je vjerojatnost da će određeni tehnički sustav u propisanim uvjetima rada i u određenom vremenu obaviti zadatak bez kvara /29/. Na tržištu se danas određeni elementi-pozicije ili sklopovi, pa i kompletna oprema, mogu nabaviti s određenom pouzdanošću (što je ona veća, proizvod je skuplji). Da je zastoj skup i nepoželjan najbolje se vidi kod industrijskih postrojenja za koja se radi toga traži i plaća visoka pouzdanost. Odnos troškova proizvodnje opreme (strojeva, tehnoloških linija) i troškova njihova održavanja može se kvalitativno prikazati slikom 3.13. (u oba slučaja na slici naglašeni su samo optimalni parametri).



Slika 3.13. Odnosi troškova i pouzdanosti

Proizvođaču je u interesu ostvariti što veću pouzdanost, jer tako postiže konkurentnost na tržištu i može se lakše dokazati kupcu. Vidljivo je, prema slici 3.13., da povećanje pouzdanosti znači i promjenu odnosa između pojedinih troškova.

Ispitivanja i dokazivanja ostvarene pouzdanosti, za proizvedenu opremu izuzetno su skupa.

Životni vijek proizvoda (vidi sliku 3.1.) počinje fazom projektiranja i konstruiranja.

Oblikovanjem, izračunom, izborom i definiranjem na dokumentaciji svih zahtjeva i značajki proizvoda, a nakon toga i svih pojedinosti proizvodnog procesa, završava navedena prva faza. U tom trenutku može se govoriti o **projektiranoj pouzdanosti proizvoda**, sklopova i pozicija.

Proizvođaču opreme je važno da procesom proizvodnje, druga faza, ostvari projektiranu pouzdanost gotovog proizvoda. Pretpostaviti je da se jedino u idealnom slučaju proizvodnje opreme može ostvariti projektirana pouzdanost. Naime, već sama slučajna odstupanja (od dokumentacijom propisane kvalitete resursa i kvalitete operacija, kao i teorijski potrebnih uvjeta rada, znanja radnika i drugo) realna su pojava i dovoljan razlog da gotov proizvod ima **ostvarenu pouzdanost** što se razlikuje od projektirane. Obje

pouzdanosti, projektirana i ostvarena, jesu statički parametri koji poprimaju samo jednu numeričku vrijednost.

Za vrijeme eksploatacije opreme, a to je kod industrijske opreme i najduži vremenski interval u životnom vijeku opreme, može se na temelju sustavnog praćenja kvarova po svakom stroju - opremi, izračunati **eksploatacijska pouzdanost**. Ta je pouzdanost dinamični parametar koji se računa i određuje za vrijeme eksploatacije opreme. U radnom vijeku proizvoda (opreme) numerička vrijednost njegove eksploatacijske pouzdanosti se mijenja.

3.5. Eksploatacijska pouzdanost

Sa stajališta korisnika opreme najveće značenje ima stanje eksploatacijske pouzdanosti. O tome ovisi uspješnost procesa, troškovi proizvodnje i na kraju profit poduzeća.

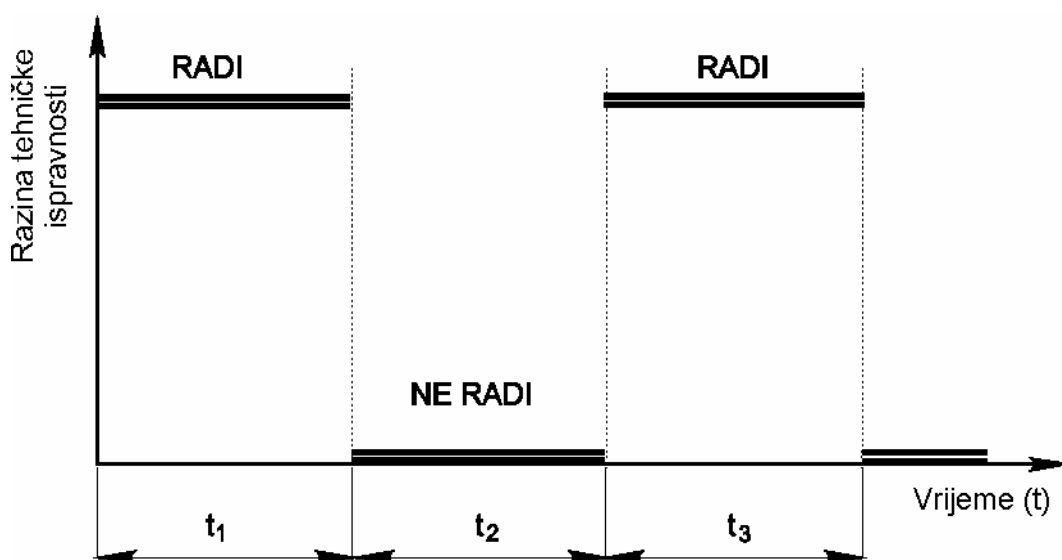
Prve izračunate vrijednosti u početku radnog vijeka eksploatacijske pouzdanosti treba usporediti s podacima o ostvarenoj pouzdanosti koju deklarira proizvođač. Prvi podaci o eksploatacijskoj pouzdanosti koriste se u vođenju politike održavanja. Navedeni podaci pružaju i mogućnost dodatnih analiza i usporedbi srodne opreme različitih proizvođača. Na taj način dobiva se okvirni podatak za eventualno buduće nabavljanje nove opreme. Analizom podataka o zastojima opreme i razlozima zastoja dolazi se do spoznaja važnih za donošenje odluke o:

- planiranim budućim zahvatima održavanja,
- zamjeni ili rekonstrukciji pojedinih sklopova (slaba mjesta),
- asortimanu i količinama doknadnih dijelova,
- obliku zahtjeva za ponudu kod nabave nove opreme,
- rangiranju pojedinih dijelova i sklopova u odnosu na učestalost kvarova i srednjeg vremena između dva kvara (SVIK).

Eksploatacijska pouzdanost koristi se i kao indikator za usporedbu vlastite opreme s drugom (različiti proizvođači iste opreme, isti strojevi u različitim tvornicama i sl.).

S metodološkog stajališta u pristupu određivanja eksploatacijske pouzdanosti potrebno je definirati četiri elementa:

1. Kriteriji za određivanje vremenske slike stanja, prema slici 3.14. (npr: za sijalicu je to lako odrediti jer ima samo dva stanja, radi - ne radi, dok je za obradni stroj teže, jer može npr. postići odgovarajući broj okretaja, ali ne i dovoljno snage za obaviti određeni zahvat).



Slika 3.14. Vremenska slika stanja tehničkog sustava

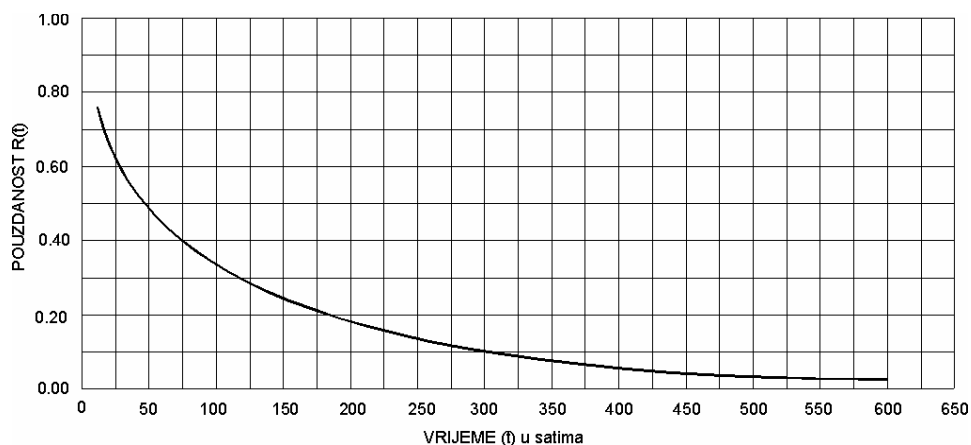
2. Uvjete eksploatacije koji trebaju biti jednaki i nepromjenljivi za vrijeme snimanja podataka (u jednom industrijskom postrojenju oni to uglavnom i jesu, dok se kod, primjerice, transportne opreme to često mijenja).
3. Vrijeme u kojem se želi odrediti pouzdanost određene opreme (pouzdanost će padati s povećanjem vremena eksploatacije).
4. Podjelu opreme po određenim kriterijima na grupe, kao npr: po proizvođačima, po kumulativnom vremenu upotrebe, po vrsti pogona, po uvjetima eksploatacije i slično.

Nakon uspješno završene pripreme za svaki zastoj (kvar) koji se prati na određenoj opremi, potrebno je imati sljedeće podatke:

- redni broj zastoja,

- datum i sat zastoja,
- vrijeme nastanka zastoja u odnosu na nulti moment (npr. prvi zastoj u nultom trenutku - satu, drugi zastoj u 26. satu, pa treći u 148. satu itd.),
- vrijeme između dvaju zastoja na temelju kojeg se nakon dužeg snimanja (godina) dobiva srednje vrijeme između dva kvara,
- šifra vrste kvara (ima ih na opremi obično od 10 do 20, a to su npr.: začepljenost, lom, deformacija, probijanje izolacije itd.),
- vrijeme trajanja popravka,
- šifra dijela ili sklopa na kojem se pojavio kvar (na primjer oprema s tri do pet tisuća pozicija mogla bi prosječno imati 70-90 takvih mjesta).

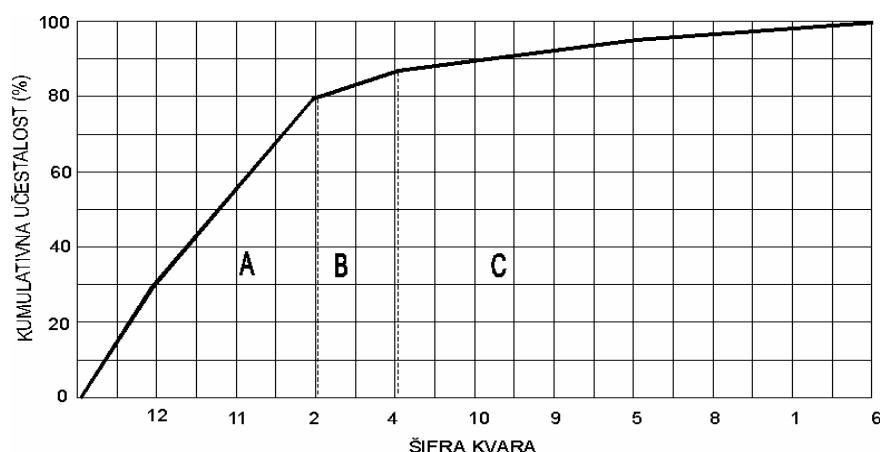
Na temelju ovako snimljenih podataka može se proračunom srednjeg vremena kvara, (recipročna vrijednost od intenziteta kvarova λ) jednom od razdioba (eksponencijalna ili Weibulova), odrediti eksploatacijska pouzdanost. Grafički prikaz tako dobivene pouzdanosti za jednu grupu opreme ilustriran je slikom 3.15.



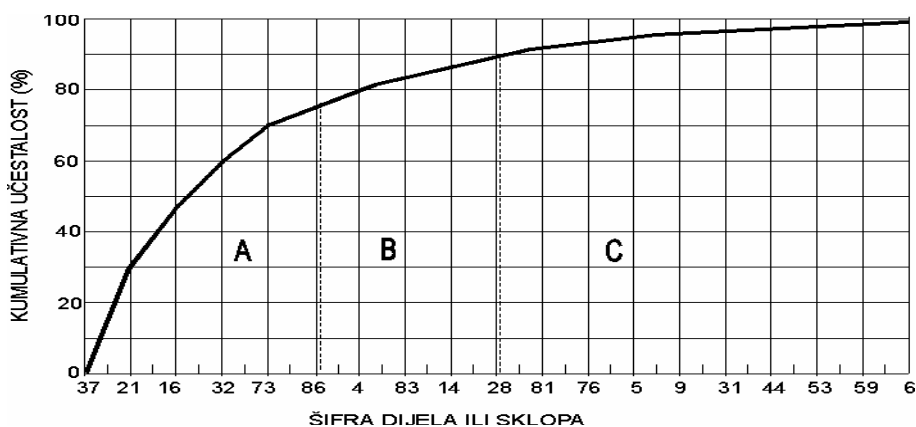
Slika 3.15. Pouzdanost jedne grupe opreme

Prikazana krivulja pouzdanosti u odnosu na vrijeme, na slici 3.15. daje veličinu eksploatacijske pouzdanosti u ovisnosti o vremenu eksploatacije. Korisno je usporediti ovakve krivulje za istu vrstu opreme koju proizvode različiti proizvođači, pa se na taj način može sigurno odrediti njihova razina kvalitete proizvedene opreme.

Jedna od mogućnosti drugih analiza je ABC-analiza po vrstama kvarova (lom, deformacija, začepljenje, itd.). Ovom se analizom može doći do spoznaje o utjecaju pojedinih kvarova (na primjer kvar: začepljenost pročistača je u grupi A), a tome može biti uzrok nemarni rad ili površnost ekipe, održavatelja ili rukovatelja (slika 3.16.). Kada se takvi podaci usporede s podacima o istoj opremi u drugim pogonima mogu se donositi korisne odluke.



Slika 3.16. Rangiranje vrste kvarova po učestalosti



Slika 3.17. Rangiranje kvarova na dijelovima i sklopovima po učestalosti

Takva je analiza dobar pokazatelj za dijelove i sklopove (slika 3.17.) koji se kvare (uzroci kvara), što rezultira rangom po učestalosti pojava kvara. Na taj način u grupi A (približno 70 do 80%) su dijelovi i sklopovi koji značajno utječu na pad srednjeg vremena između dva kvara, a posredno i na smanjenje pouzdanosti.

Obradom podataka može se odrediti srednje vrijeme trajanja pojedinih dijelova i sklopova, što je podloga za određivanje ciklusa održavanja, zamjene dijelova ili jednostavno planiranje količina i asortimana doknadnih dijelova.

Polazeći od nabrojenih pretpostavki u četvrtom je poglavlju prikazano istraživanje na strojarskoj opremi kod koje su snimani podaci o zastojima i vrstama kvara kroz duže razdoblje (3 godine). Sva instalirana oprema podijeljena je u sedam grupa, a kriterij je bio proizvođač i kumulativno vrijeme eksploatacije, tj starost opreme.

4. ISTRAŽIVANJE RASPOLOŽIVOSTI I EKSPLOATACIJSKE POUZDANOSTI

4.1. Podaci o zastojima na strojevima

Predmet istraživanja u ovom radu odnosi se uglavnom na industrijsku opremu, dakle strojeve instalirane u proizvodnim poduzećima. Konkretni podaci prikupljeni su o opremi - strojevima za provlačenje žice. Da se radi o složenim tehničkim sustavima može ilustrirati podatak o broju od 3500 do 4500 pozicija (dijelova) po pojedinom stroju. Podaci o kvarovima snimani su u razdoblju od tri godine na 36 strojeva. Za svako istraživanje od presudno značenje imaju kvalitetni podaci, realne činjenice o objektu ili pojavi koja se istražuje. Poznato je da postoje različiti pristupi, metodologije i metode kojima se dolazi do podataka. Za ovaj rad preuzeti su (nakon analize i provjere) podaci prikupljeni sustavnim snimanjem procesa i uvidom u tehničku dokumentaciju za razdoblje od tri godine.³⁰

Na temelju prikupljenih podataka o kvarovima (zastojima) za svaki stroj, i kasnije obradom tih podataka, dobivene su krivulje pouzdanosti. U radu je za obradu podataka korištena eksponencijalna i Weibulova razdioba. Krivulje pouzdanosti za svaki stroj bile su samo indikator kvalitete ili značajka koja je ukazivala na potrebu daljnjih akcija, ukoliko se želi povećati pouzdanost, odnosno raspoloživost. Kako su se mogli koristiti isti podaci za proračun raspoloživosti, u radu je obrađena i proračunata raspoloživost i eksploatacijska pouzdanost na 36 strojeva za provlačenje žice. U tablici 4.1. navedeni su brojevi i naziv stroja.

Tablica 4.1. Popis strojeva na kojima su snimljeni zastoji

Redni broj	Broj stroja	Naziv stroja
1.	1	Stroj za grubo izvlačenje žice (5 glava)
2.	2	Stroj za grubo izvlačenje žice (3 glave)
3.	3	Stroj za izvlačenje i žarenje žice
4.	4	Stroj za izvlačenje žice A
5.	5	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice
6.	6	Stroj za izvlačenje žice B
7.	8	Stroj za izvlačenje žice B
8.	9	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice
9.	10	Stroj za izvlačenje žice C
10.	13	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice

³⁰ Podatke sakupili G. Marić, I. Čala; računalna obrada: A. Šaban

11.	14	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice
12.	20	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice
13.	22	Stroj za fino izvlačenje žice D
14.	23	Stroj za fino izvlačenje žice D
15.	24	Stroj za fino izvlačenje žice D
16.	25	Stroj za fino izvlačenje žice D
17.	26	Stroj za fino izvlačenje žice D
18.	27	Stroj za fino izvlačenje žice D
19.	28	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice
20.	29	Stroj za srednje i fino izvlačenje žice
21.	30	Stroj za srednje i fino izvlačenje i žarenje žice
22.	31	Stroj za srednje i fino izvlačenje i žarenje žice
23.	32	Stroj za srednje i fino izvlačenje i žarenje žice
24.	33	Stroj za fino izvlačenje žice E
25.	34	Stroj za fino izvlačenje žice E
26.	35	Stroj za fino izvlačenje žice E
27.	36	Stroj za fino izvlačenje žice E
28.	37	Stroj za fino izvlačenje žice E
29.	38	Stroj za fino izvlačenje žice E
30.	39	Stroj za srednje i fino izvlačenje i žarenje žice
31.	40	Stroj za srednje i fino izvlačenje i žarenje žice
32.	41	Stroj za srednje fino izvlačenje i žarenje žice
33.	50	Stroj za izvlačenje žice F
34.	51	Stroj za izvlačenje i žarenje žice
35.	52	Stroj za izvlačenje i žarenje žice
36.	53	Stroj za izvlačenje žice F

Svi su strojevi grupirani prema proizvođačima i kumulativnom vremenu upotrebe, jer je istraživanje pokazalo da svaka grupa ima specifične vrijednosti eksploatacijske pouzdanosti i raspoloživosti. Na sljedećoj tablici 4.2. prikazana je podjela na strojne grupe, a pri tome su oznakom grupe "0" označeni pojedinačni samostalni strojevi.

Tablica 4.2. Podjela snimanih strojeva na grupe

Redni broj	Broj stroja	Strojna grupa
1.	1	0
2.	2	0
3.	3	0
4.	4	0
5.	5	0
6.	6	1
7.	8	1
8.	9	0
9.	10	0
10.	13	0
11.	14	0
12.	20	0
13.	22	2
14.	23	2

15.	24	2
16.	25	2
17.	26	2
18.	27	2
19.	28	0
20.	29	0
21.	30	3
22.	31	3
23.	32	3
24.	33	4
25.	34	4
26.	35	4
27.	36	4
28.	37	4
29.	38	4
30.	39	5

31.	40	5	34.	51	6
32.	41	5	35.	52	7
33.	50	6	36.	53	7

Istražujući prikupljene podatke o zastojima i računanjem eksploatacijske pouzdanosti uočeno je da postoje prepoznatljive vrste različitih kvarova pa je svaki šifriran kako bi se kasnijom obradom podataka moglo doći do onih čija je frekvencija značajna. U tablici 4.3. data je lista sa šifrom i opisom svih kvarova evidentiranih u trogodišnjem razdoblju.

Tablica 4.3. Broj, šifra i naziv kvara

Redni broj	Vrsta kvara [šifra]	Opis vrste kvara
1.	00	Preventivni pregled; planski popravak
2.	01	Olabavljenje
3.	02	Lom; prekid; deformacija
4.	03	Korozija; erozija; starenje
5.	04	Trošenje; čvrsto nasjedanje
6.	05	Zračnost
7.	06	Začepljenje; onečišćenje
8.	07	Ispad automata iz sklopa
9.	08	Izgaranje elektromotora
10.	09	Montaža; demontaža
11.	10	Kontrola; podešavanje; regulacija; ispitivanje
12.	11	Mehanički kvar (nepoznat uzrok)
13.	12	Kvar na električnim instalacijama; proboj instalacije

Isto je tako nakon obrade podataka o zastojima opreme zaključeno da su dobiveni podaci omogućili proračun pouzdanosti, no, to je bio samo indikator koji je dao podatke o tome, da je vrijednost dobivene eksploatacijske pouzdanosti za određeni vremenski interval manja ili veća od uobičajnih vrijednosti te opreme. Kako djelovati na vrijednost eksploatacijske pouzdanosti te opreme, tj kako je povećati ? Nakon temeljite analize odgovor je nađen u evidentiranju pozicija i sklopova koji su prouzrokovali pojedine zastoje. Sve pozicije ili sklopovi koji su se kvarili u promatranom razdoblju popisani su po brojevima i nazivu, a prikazani su u tablici 4.4. Treba napomenuti je da su u tablici svi nazivi preuzeti iz konkretne tvornice.

Tablica 4.4. Pozicije i sklopovi koji su se kvarili za vrijeme snimanja

Redni broj	Zastoj na sklopu [šifra]	Naziv ili opis sklopa, pozicije
1.	00	Preventivni pregled; planski popravak
2.	01	Zaštita
3.	02	Kada žarenja
4.	03	Remen na žarenju
5.	04	Ležaj do piramide
6.	05	Kamen (matrica)
7.	06	Trake za vođenje, kotačići, vodilice
8.	07	Kočnica
9.	08	Pneumatska instalacija
10.	09	Cijev; crijevo
11.	10	Žarna glava
12.	11	Ležaj na valjku
13.	12	Ventil
14.	13	Taho generator
15.	14	Osigurač u trafostanici
16.	15	Varijator
17.	16	Krajnji kontakt
18.	17	Kućište stroja
19.	18	Spojka
20.	19	Piramida
21.	20	Namotaj
22.	21	Kontakt trake, kotačići
23.	22	Ležaj na zateznoj remenici
24.	23	Žarna rola
25.	24	Sklopka
26.	25	Pinola
27.	26	Crpka za vodu
28.	27	Ventilator
29.	28	Prekidač
30.	29	Pločica za prekid žice
31.	30	Remenica
32.	31	Remen taho generatora
33.	32	Remen varijatora
34.	33	Kontakt namotaja
35.	34	Brtvila
36.	35	Kućište s kliznim ležajem
37.	36	“S” osigurač
38.	37	Osigurač žarenja
39.	38	Regulator žarenja
40.	39	Pogonski elektro-motor
41.	40	Centralni sustav za emulziju
42.	41	Brтва žarne komore
43.	42	Lančanic kod kotača
44.	43	Vijak vodljivog kotača
45.	44	Vrata prostora za namatanje
46.	45	Osovina za izvlačenje
47.	46	Mjenjačka kutija
48.	47	Auto-lampe na namotaču
49.	48	Prsten i četkice
50.	49	Osovina
51.	50	Letve
52.	51	Lanac piramide
53.	52	Zatvarač dovoda emulzije

54.	53	Glava namotača
55.	54	Podizač poklopca
56.	55	Elektro-magnet
57.	56	Žarni kotač, traka
58.	57	Ležaj u taho generatoru
59.	58	Mjerni uređaj
60.	59	Rashladni sustav
61.	60	Bubanj za namatanje
62.	61	Bubanj za odmatanje
63.	62	Ležaj pumpe
64.	63	Ležaj ventilatora
65.	64	Komandni uređaj
66.	65	Nosač kalema
67.	66	Kotači
68.	67	Remen glave bubnja za namatanje
69.	68	Poklopac na glavi
70.	69	Valjci
71.	70	Šalica
72.	71	Lanac
73.	72	Uređaj za varenje
74.	73	Osigurač
75.	74	Uređaj za izradu šiljka
76.	75	Regulator bubnja za namatanje
77.	76	Ležaj glave
78.	77	Upuštač
79.	78	Regulator emulzije
80.	79	Crpka za ulje
81.	80	Uređaj za ubrzavanje
82.	81	Remen vodilice
83.	82	Potenciometar
84.	83	Hidraulika
85.	84	Čistač žice
86.	85	Nosač matrice
87.	86	Pogonski remen
88.	87	Dioda žarenja

Na kraju, nakon sistematizacije podataka u tablici 4.5., prikazan je samo jedan segment snimljenih podataka o zastojima na stroju broj-1. Pregledi zastoja za sve ostale strojeve zbog svoje opsežnosti nisu u radu.

Tablica 4. 5. Pregled zastoja na stroju broj-1*

Broj stroja:	Redni broj	Datum	VDK [h]	SVIK [h]	Zastoj na sklopu [šifra]	Trajanje popravaka ili pregleda [h]	Vrsta kvara [šifra]
1	1.	02.02.89.	1	1	00	73	00
1	2.	08.02.89.	97	96	55	0.75	12
1	3.	21.02.89.	305	208	06	1.25	11
1	4.	04.04.89.	977	672	00	5	00

1	5.	07.05.89.	1505	528	24	1	11
1	6.	07.06.89.	2001	496	07	0.16	01
1	7.	02.08.89.	2897	896	00	2	00
1	8.	30.10.89.	4321	1424	53	0.84	01
1	9.	31.10.89.	4337	16	05	1.5	11
1	10.	16.11.89.	4593	256	00	6	00
1	11.	27.11.89.	4769	176	24	1.5	11
1	12.	07.01.90.	5425	656	00	77	00
1	13.	19.02.90.	6113	688	06	1	04
1	14.	21.04.90.	7089	976	00	3	00
1	15.	29.07.90.	8673	1584	00	2	00
1	16.	08.03.90.	8753	80	67	8	02
1	17.	05.08.90.	8785	32	67	5	02
1	18.	04.11.90.	10241	1456	00	3	00
1	19.	14.01.91.	11377	1136	00	32	00
1	20.	24.06.91.	14177	2800	07	2.66	09
1	21.	03.08.91.	14817	640	00	3	00
1	22.	22.10.91.	16097	1280	44	0.08	01
1	23.	09.11.91.	16385	288	00	2.5	00
1	24.	25.11.91.	16641	256	65	1.16	04
1	25.	02.12.91.	16753	112	05	2	01
1	26.	24.12.91.	17105	352	06	0.5	01

**Nepotpun skup podataka, samo za ilustraciju strukture podataka*

U tablici 4.5. oznake su:

VDK [h] proteklo vrijeme do kvara (TTF - time to failure)

SVIK [h] vrijeme između dva kvara.

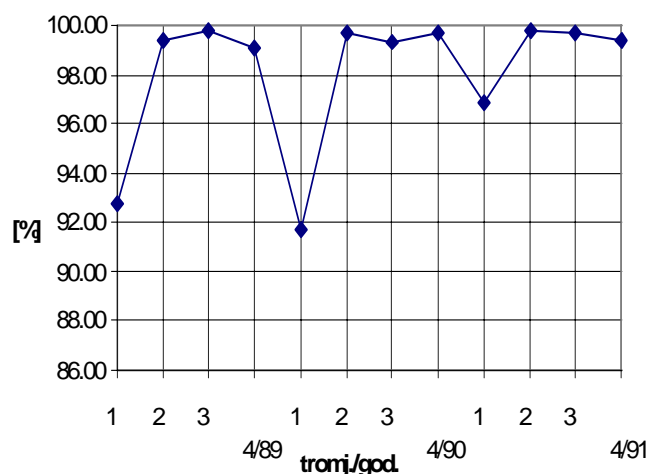
4.2. Proračun raspoloživosti strojeva

Raspoloživost opreme izračunat će se prema relaciji 3.1. za svaki stroj. Uz to je proračunata i prosječna raspoloživost pojedine strojne grupe prema popisu iz tablice 4.2. Proračun raspoloživosti za svaki stroj izrađen je na temelju rada u dvije smjene, tj teorijsko vrijeme rada svakog stroja bilo je 16 sati dnevno. U brojniku izraza 3.1. je stvarno vrijeme rada opreme, a to je razlika između teoretskog vremena u radu (četvrta kolona u tablici 4.6.) i vremena u zastoju (peta kolona u tablici 4.6.). U radu je prikazana tablica 4.6. u kojoj je izračunata raspoloživost stroja broj-1, a uz tablicu je i slika 4.1. gdje je dijagramom grafički prikazano kretanje raspoloživosti stroja po tromjesečjima u promatranom razdoblju.

Tablica 4.6. Rezultati raspoloživosti stroja broj -1

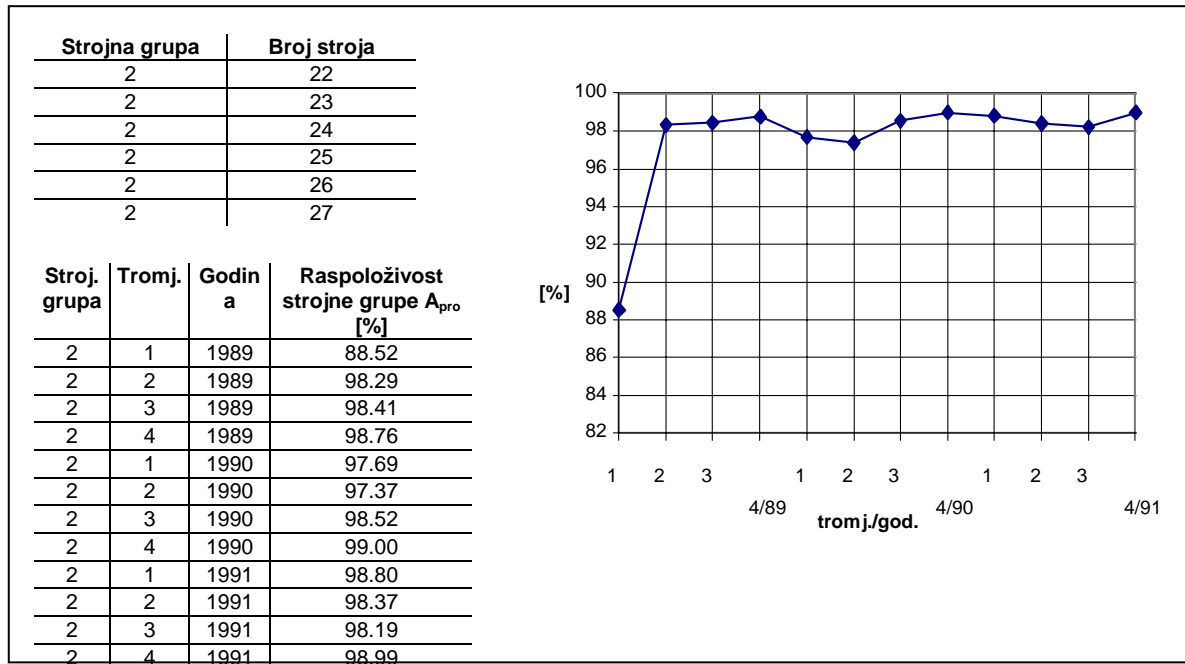
Stroj	Tromjes.	God.	Teoretsko vrijeme rada [h/trom.]	Vrijeme u zastoju [h]	Vrijeme u radu [h]	Raspoloživost A [%]
1	1	1989	1040	75	965	92.79
1	2	1989	1040	6.16	1033.84	99.41
1	3	1989	1040	2	1038	99.81
1	4	1989	1056	9.84	1046.16	99.07
1	1	1990	1040	86	954	91.73
1	2	1990	1040	3	1037	99.71
1	3	1990	1040	7	1033	99.33
1	4	1990	1040	3	1037	99.71
1	1	1991	1024	32	992	96.88
1	2	1991	1040	2.66	1037.34	99.74
1	3	1991	1056	3	1053	99.72
1	4	1991	1040	6.24	1033.76	99.40

Iz proračunatih podataka i dobivenih rezultata u zadnjoj koloni tablice 4.6. može se zaključiti da je raspoloživost stroja broj - 1 visoka, tj najmanja je vrijednost 91,73 %, a najveća 99,81%. Prosječna raspoloživost dotičnog stroja je 97,76% što znači da je on u promatrane tri godine bio samo 2.24% od teoretskog vremena neraspoloživ, odnosno u kvaru. To se bolje vidi na grafičkom prikazu slike 4.1.

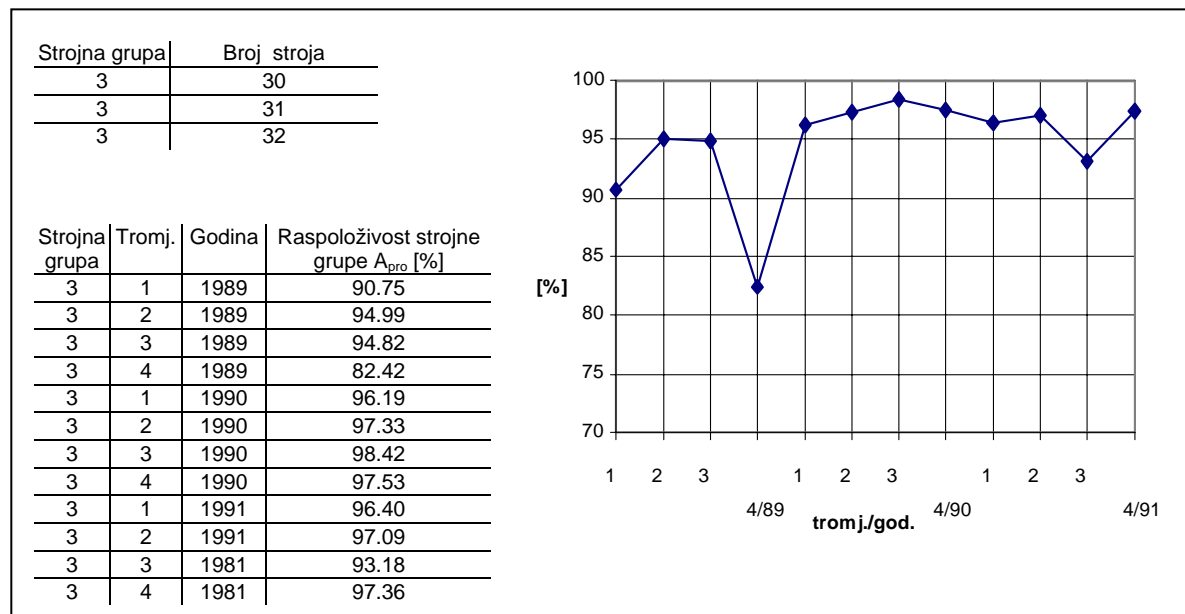


Slika 4.1. Raspoloživost stroja 1

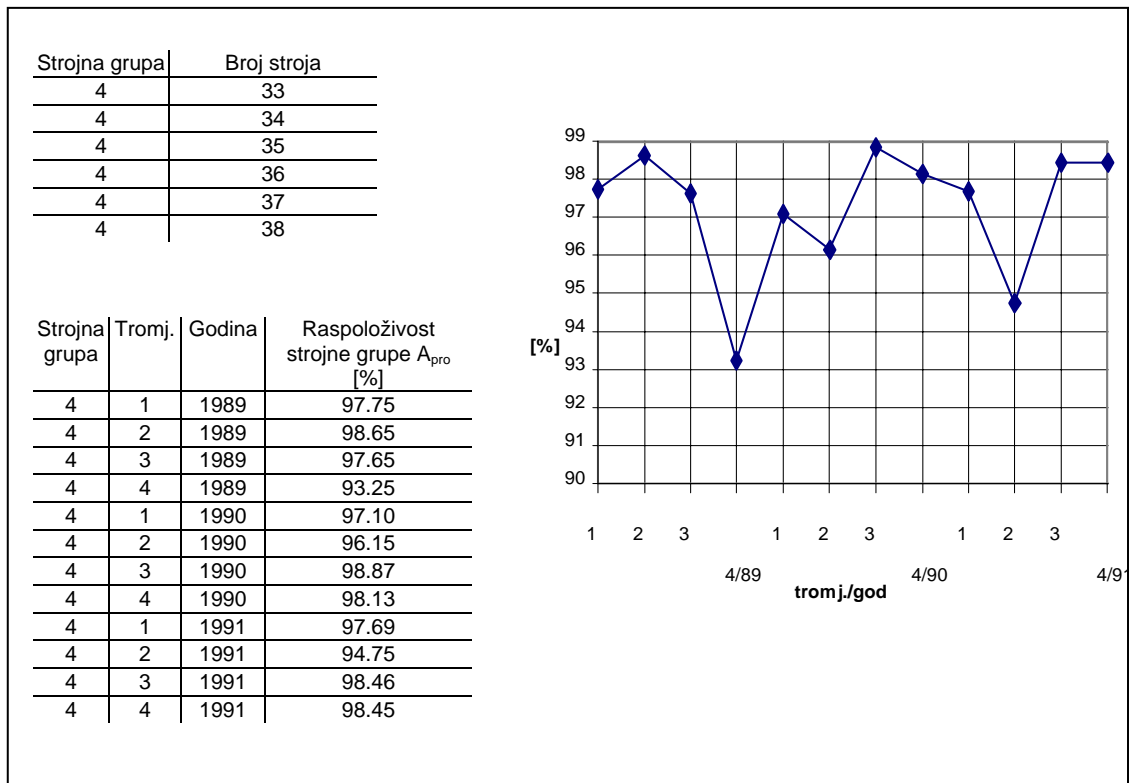
Nakon što su proračunate sve vrijednosti raspoloživosti svakog pojedinog stroja, i prikazane grafički, izračunata je i prosječna raspoloživost svake grupe strojeva prema tablici 4.2. Dakle, slijedi prosječna raspoloživost A_{pro} za svih šest strojnih grupa od druge do sedme (slike 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.6. i 4.7.), a prva od sedam grupa nije obrađena jer su strojevi instalirani u drugoj polovici posljednje godine snimanja.



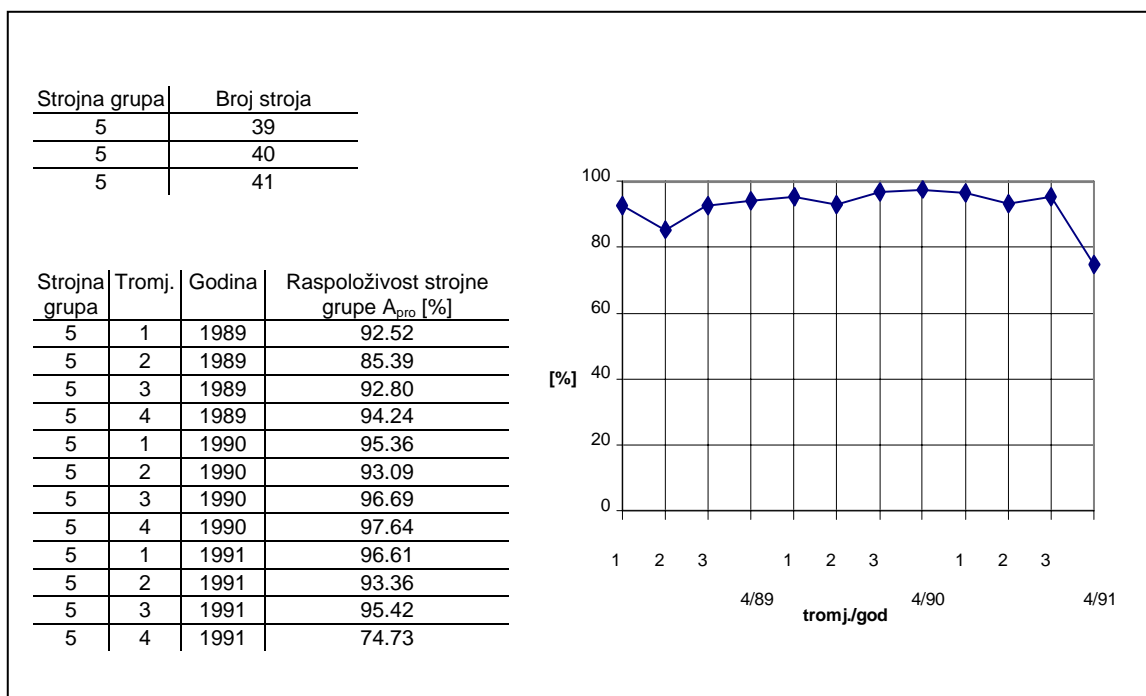
Slika. 4.2. Prosječna raspoloživost strojne grupe 2



Slika 4.3. Prosječna raspoloživost strojne grupe 3



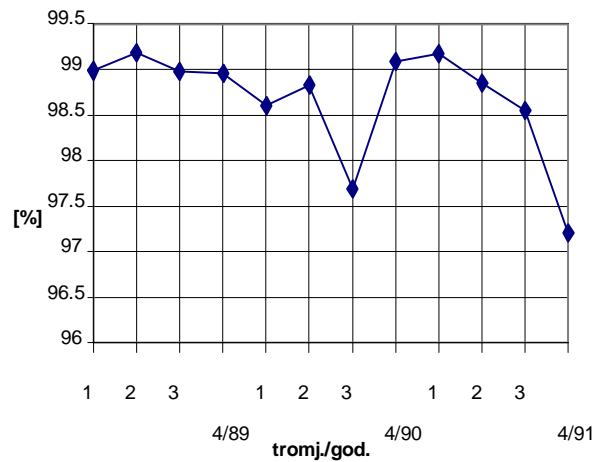
Slika 4.4. Prosječna raspoloživost strojne grupe 4



Slika 4.5. Prosječna raspoloživost strojne grupe 5

Strojna grupa	Broj stroja
6	50
6	51

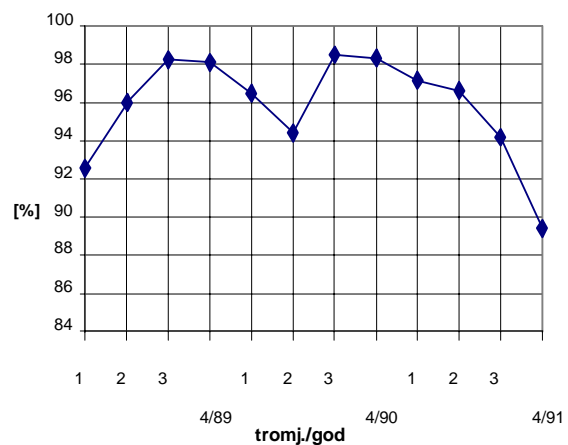
Strojna grupa	Tromj.	Godina	Raspoloživost strojne grupe A_{pro} [%]
6	1	1989	98.99
6	2	1989	99.18
6	3	1989	98.98
6	4	1989	98.95
6	1	1990	98.60
6	2	1990	98.83
6	3	1990	97.69
6	4	1990	99.09
6	1	1991	99.17
6	2	1991	98.85
6	3	1991	98.55
6	4	1991	97.20



Slika 4.6. Prosječna raspoloživost strojne grupe 6

Strojna grupa	Broj stroja
7	52
7	53

Strojna grupa	Tromj.	Godina	Raspoloživost strojne grupe A_{pro} [%]
7	1	1989	92.55
7	2	1989	96.00
7	3	1989	98.25
7	4	1989	98.09
7	1	1990	96.50
7	2	1990	94.43
7	3	1990	98.50
7	4	1990	98.34
7	1	1991	97.18
7	2	1991	96.61
7	3	1991	94.20
7	4	1991	89.40



Slika 4.7. Prosječna raspoloživost strojne grupe 7

4.3. Proračun eksploatacijske pouzdanosti strojeva

Za proračun eksploatacijske pouzdanosti koristi se eksponencijalna i dvoparametarska Weibullova, a u dodatnim istraživanjima još gama, te Galtonova (lognormalna) razdioba. Za prosječnu vrijednost pouzdanosti strojnih grupa uzeti su u obzir i uvjeti prema /26/. U proračunu se koriste podaci o vremenskom intervalu između dva zastoja i to na svih 36 strojeva u promatranom razdoblju.

Pri tome se izuzimaju podaci o zastojima uzrokovani preventivnim pregledima i planskim popravcima, jer bi oni dali krivu sliku o kvaliteti stroja (tj. stroj nije bio u zastoju zbog kvara). Također se dva istovremena različita kvara smatraju jednim zastojem, za razliku od glavne baze podataka gdje su dva istovremena kvara prikazana kao dva zastoja s međusobnim iznosom vremenskog intervala nula.

Može se pretpostaviti da bi npr. eksponencijalni zakon razdiobe vremena ispravnog rada mogao poslužiti za opisivanje vremena do otkaza strojeva, jer se zna da kod tehničkih sustava pouzdanost elementa eksponencijalno pada s povećanjem vremena rada.

Radi preciznijeg određivanja zakonitosti razdiobe vremena ispravnog rada koriste se posebni grafički ili analitičko-numerički postupci. Pri tome se od grafičkih postupaka u strojarstvu najviše koristi tzv. Henryev papir vjerojatnosti kojim se provjerava odgovara li zakon razdiobe vremena ispravnog rada Weibullovom zakonu ili općenito bilo kojem drugom zakonu, te se određuju i parametri tog zakona.

U ovom slučaju koristit će se analitičko-numerički postupci već obrađeni računalnim programom, te se prihvaća da su rezultati istiniti i precizniji nego da su dobiveni grafičkim postupkom, te ih se neće provjeravati grafički.

Funkcija pouzdanosti jednoparametarske eksponencijalne razdiobe određena je izrazom:

$$R(t; \eta) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)},$$

gdje je t vrijeme rada za koje se računa pouzdanost, a η je srednje vrijeme između dva kvara (SVIK)

Funkcija pouzdanosti dvoparametarske Weibullove razdiobe određena je izrazom:

$$R(t; \beta, \eta) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta},$$

gdje je β parametar oblika, a η parametar položaja Weibullove razdiobe.

U svrhu određivanja razdiobe kojoj se pokoravaju empirijski podaci, svrstani su vremenski intervali između dva zastoja (*SVIK*) u razrede, te su izračunate njihove apsolutne i relativne učestalosti. Na osnovi dobivenih podataka za svaki stroj je izrađen histogram relativne učestalosti kvara. Ako je hipoteza o slučajnim odstupanjima (empirijskih i teorijskih učestalosti) potvrđena (dokazana) za takvu je grupu podataka nacrtana funkcija pouzdanosti.

U slučaju pretpostavke bilo koje teorijske razdiobe (eksponencijalne, Weibullove i drugih) za sakupljene empirijske podatke o učestalosti otkaza mogu se obaviti testiranja hi-kvadrat (χ^2) testom. Tim se testom ispituje slijede li podaci eksponencijalnu, Weibullovu ili neku drugu razdiobu, tj. provjerava se imaju li odstupanja podataka od očekivanih vrijednosti, dobivenih pomoću neke teorijske razdiobe, slučajan karakter ili se odstupanja smatraju značajnim (signifikantnima). Ako su odstupanja značajna, ne može se za obradu tih podataka primijeniti testirana razdioba.

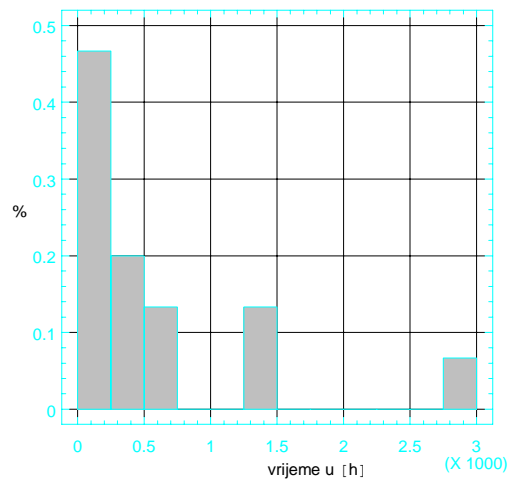
Uobičajeno se definira područje signifikantnosti ako χ^2 padne izvan područja vrijednosti kojem pripada vjerojatnost 0.95. U tom slučaju odbacivanje primjene razdiobe bit će pogrešno u prosječno 5% slučajeva, naime, u toliko posto slučajeva je razdioba ipak mogla biti primijenjena za obradu podataka.

Hipoteza se može testirati i pouzdanijim Kolmogorov-Smirnov (K-S) testom koji mjeri koliko se kumulativna distribucija razlikuje od teorijske. To se radi zato jer postoje slučajevi kada se χ^2 test neće moći primijeniti ili kad on daje rezultate blizu granice signifikantnosti.

Rezultat Kolmogorov - Smirnov (K-S) testa prikazuje s kojim maksimumom empirijska kumulativna funkcija doseže pretpostavljenu teorijsku kumulativnu funkciju (*D PLUS*) ili s kojim je maksimumom premašuje (*D MINUS*), tj. određuje odstupanje pojedinih točaka od kumulativne funkcije pretpostavljene razdiobe koja ima oblik pravca.

	Lower Limit	Upper Limit	Midpoint	Frequency	Relative Frequency	Cumulative Frequency	Cum. Rel. Frequency
at or below	.00			0	.0000	0	.000
1	.00	250.00	125.00	7	.4667	7	.467
2	250.00	500.00	375.00	3	.2000	10	.667
3	500.00	750.00	625.00	2	.1333	12	.800
4	750.00	1000.00	875.00	0	.0000	12	.800
5	1000.00	1250.00	1125.00	0	.0000	12	.800
6	1250.00	1500.00	1375.00	2	.1333	14	.933
7	1500.00	1750.00	1625.00	0	.0000	14	.933
8	1750.00	2000.00	1875.00	0	.0000	14	.933
9	2000.00	2250.00	2125.00	0	.0000	14	.933
10	2250.00	2500.00	2375.00	0	.0000	14	.933
11	2500.00	2750.00	2625.00	0	.0000	14	.933
12	2750.00	3000.00	2875.00	1	.0667	15	1.000
above	3000.00			0	.0000	15	1.000
Mean = 569.6		Standard Deviation = 752.651			Median = 256		

Slika 4.8. Histogramski prikaz relativnih frekvencija SVIK-a za stroj 1



Svi su testovi obrađeni, a krivulje funkcija pouzdanosti nacrtane uglavnom uz pomoć sustava statističkih i grafičkih procedura programa "Statgraphics", koje pružaju pomoć pri istraživanju i modeliranju podataka.

a) Eksponencijalna razdioba

Hi-kvadrat (χ^2) test: nemoguć zbog nedovoljno stupnjeva slobode

Kolmogorov - Smirnov (K-S) test:

```
Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.17132
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0943043
Estimated overall statistic DN = 0.17132
Approximate significance level = 0.770784 (približna razina značajnosti)
```

Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti

b) Weibullova razdioba

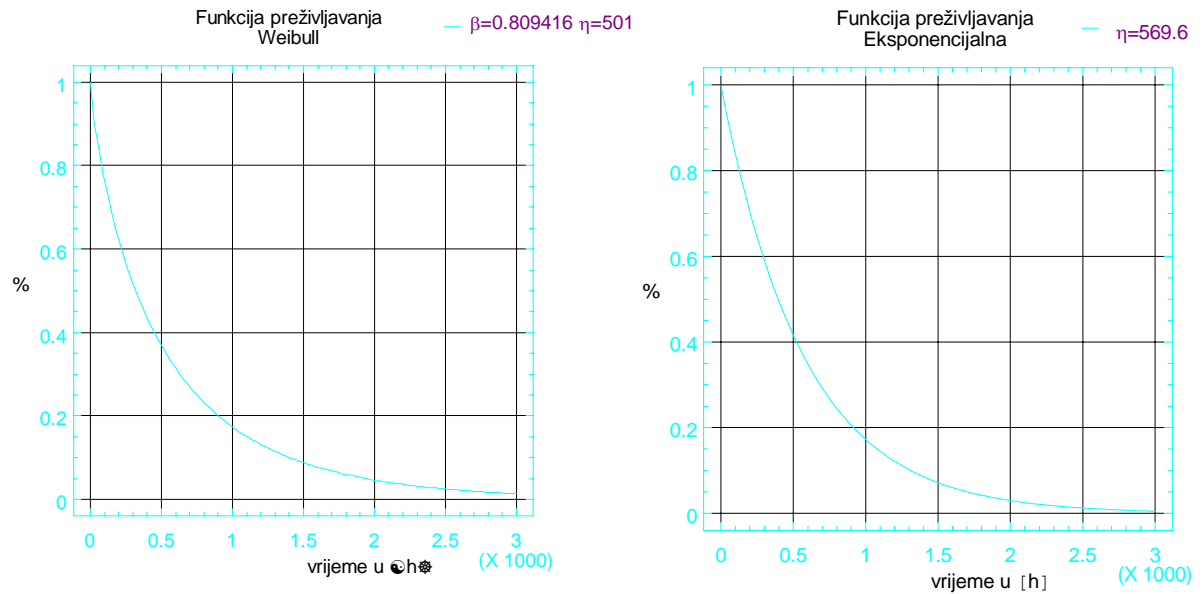
```
Shape (beta): 0.809416
Scale (eta): 501.954
```

Hi-kvadrat (χ^2) test: nemoguć zbog nedovoljno stupnjeva slobode

Kolmogorov - Smirnov (K-S) test:

```
Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0933219
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0815618
Estimated overall statistic DN = 0.0933219
Approximate significance level = 0.999451 (približna razina značajnosti)
```

Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti



Slika 4.9. Funkcije pouzdanosti stroja 1

Provedeno je dodatno testiranje podataka na gama i Galtonovu (lognormalnu) razdiobu, te su rezultati K-S testa pokazali da podaci slijede sve navedene razdiobe.

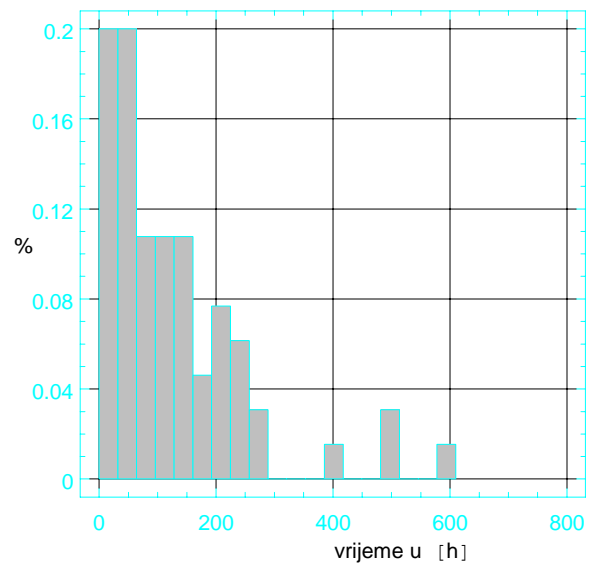
Stroj broj - 2

Tablica 4.8. Tablični prikaz frekvencija SVIK-a za stroj 2

Class	Lower Limit	Upper Limit	Midpoint	Frequency	Relative Frequency	Cumulative Frequency	Cum. Rel. Frequency
at or below		.00		0	.0000	0	.000
1	.00	32.11	16.05	13	.2000	13	.200
2	32.11	64.21	48.16	13	.2000	26	.400
3	64.21	96.32	80.26	7	.1077	33	.508
4	96.32	128.42	112.37	7	.1077	40	.615
5	128.42	160.53	144.47	7	.1077	47	.723
6	160.53	192.63	176.58	3	.0462	50	.769
7	192.63	224.74	208.68	5	.0769	55	.846
8	224.74	256.84	240.79	4	.0615	59	.908
9	256.84	288.95	272.89	2	.0308	61	.938
10	288.95	321.05	305.00	0	.0000	61	.938
11	321.05	353.16	337.11	0	.0000	61	.938
12	353.16	385.26	369.21	0	.0000	61	.938
13	385.26	417.37	401.32	1	.0154	62	.954
14	417.37	449.47	433.42	0	.0000	62	.954
15	449.47	481.58	465.53	0	.0000	62	.954
16	481.58	513.68	497.63	2	.0308	64	.985
17	513.68	545.79	529.74	0	.0000	64	.985
18	545.79	577.89	561.84	0	.0000	64	.985
19	577.89	610.00	593.95	1	.0154	65	1.000
above	610.00			0	.0000	65	1.000

Mean = 132.723 Standard Deviation = 123.261 Median = 96

Slika 4.10. Histogramski prikaz relativnih frekvencija SVIK-a za stroj 2



a) Eksponencijalna razdioba

Tablica 4.9. Prikaz χ^2 testa za podatke stroja 2 (eksponencijalna razdioba):

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		32.105	13	14.0	.06683
	32.105	64.211	13	11.0	.37756
	64.211	96.316	7	8.6	.30081
	96.316	128.421	7	6.8	.00856
	128.421	160.526	7	5.3	.54002
	160.526	224.737	8	7.4	.04242
	224.737	321.053	6	6.2	.00461
above	321.053		4	5.8	.55123

Chisquare = 1.89203 with 6 d.f. Sig. level = 0.929356 (razina značajnosti)

$P(\chi^2 > \chi_0^2) > 0.05$ Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti

Kolmogorov - Smirnov (K-S) test:

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.056244
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.103478
 Estimated overall statistic DN = 0.103478
 Approximate significance level = 0.48953 (približna razina značajnosti)

Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti

b) Weibullova razdioba

Shape (beta): 1.06459
 Scale (eta): 135.862

Tablica 4.10. Prikaz χ^2 testa za podatke stroja 2 (Weibullova razdioba):

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	32.105	64.211	13	12.6	.013373
	32.105	64.211	13	11.0	.373156
	64.211	96.316	7	8.9	.421210
	96.316	128.421	7	7.1	.003080
	128.421	160.526	7	5.7	.319150
	160.526	224.737	8	7.9	.000839
	224.737	321.053	6	6.4	.028026
above	321.053		4	5.3	.338864

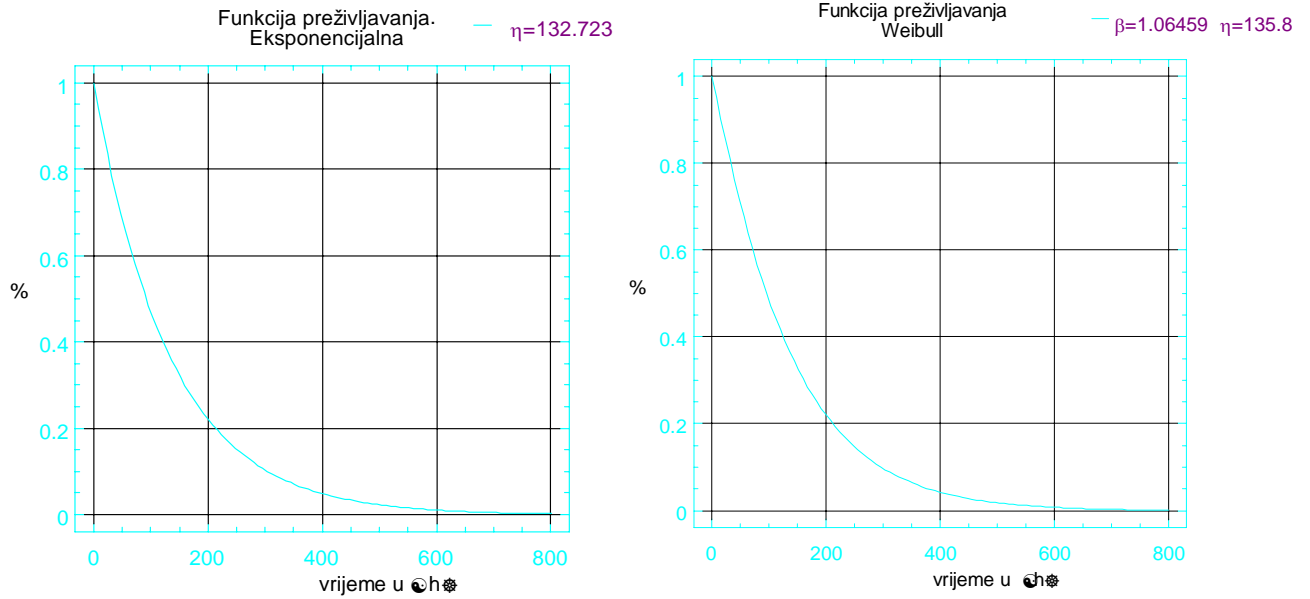
Chisquare = 1.4977 with 5 d.f. Sig. level = 0.913335 (razina značajnosti)

$P(\chi^2 > \chi_0^2) > 0.05$ Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti

Kolmogorov - Smirnov (K-S) test:

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0523003
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0813188
 Estimated overall statistic DN = 0.0813188
 Approximate significance level = 0.783267 (približna razina značajnosti)

Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti



Slika 4.11. Funkcije pouzdanosti stroja 2

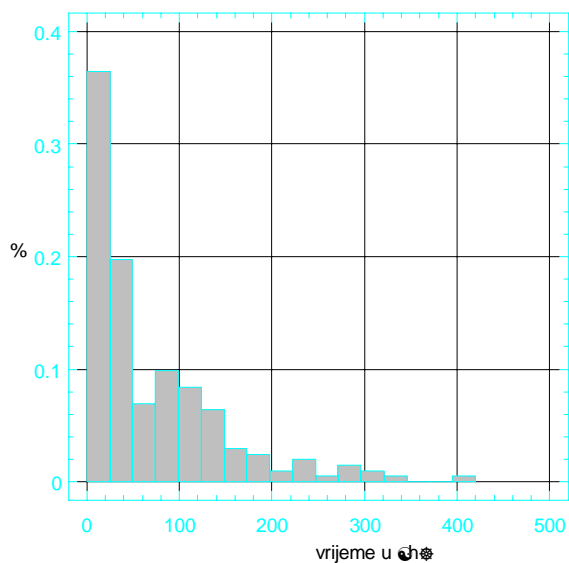
Provedeno je dodatno testiranje podataka na gama i Galtonovu (lognormalnu) razdiobu, te su rezultati K-S testa pokazali da podaci slijede gama razdiobu.

Stroj broj - 3

Tablica 4.11. Tablični prikaz frekvencija SVIK-a za stroj 3

	Lower	Upper			Relative	Cumulative	Cum. Rel.
Class	Limit	Limit	Midpoint	Frequency	Frequency	Frequency	Frequency
at or below		.00		0	.00000	0	.000
1	.00	24.71	12.35	74	.36453	74	.365
2	24.71	49.41	37.06	40	.19704	114	.562
3	49.41	74.12	61.76	14	.06897	128	.631
4	74.12	98.82	86.47	20	.09852	148	.729
5	98.82	123.53	111.18	17	.08374	165	.813
6	123.53	148.24	135.88	13	.06404	178	.877
7	148.24	172.94	160.59	6	.02956	184	.906
8	172.94	197.65	185.29	5	.02463	189	.931
9	197.65	222.35	210.00	2	.00985	191	.941
10	222.35	247.06	234.71	4	.01970	195	.961
11	247.06	271.76	259.41	1	.00493	196	.966
12	271.76	296.47	284.12	3	.01478	199	.980
13	296.47	321.18	308.82	2	.00985	201	.990
14	321.18	345.88	333.53	1	.00493	202	.995
15	345.88	370.59	358.24	0	.00000	202	.995
16	370.59	395.29	382.94	0	.00000	202	.995
17	395.29	420.00	407.65	1	.00493	203	1.000
above	420.00			0	.00000	203	1.000
Mean = 70.8473		Standard Deviation = 74.6584			Median = 48		

Slika 4.12. Histogramski prikaz relativnih frekvencija SVIK-a stroja 3



a) Eksponencijalna razdioba

Tablica 4.12. Prikaz χ^2 testa za podatke stroja 3 (Eksponencijalna razdioba):

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		24.706	74	59.8	3.39047
	24.706	49.412	40	42.2	.11163
	49.412	74.118	14	29.8	8.34177
	74.118	98.824	20	21.0	.04711
	98.824	123.529	17	14.8	.32272
	123.529	148.235	13	10.5	.62099
	148.235	172.941	6	7.4	.25637
	172.941	197.647	5	5.2	.00798
	197.647	247.059	6	6.3	.01100
above	247.059		8	6.2	.51660

Chisquare = 13.6266 with 8 d.f. Sig. level = 0.0920308 (razina značajnosti)

$P(\chi^2 > \chi_0^2) > 0.05$ Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti

Kolmogorov - Smirnov (K-S) test:

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.16238
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0819611
 Estimated overall statistic DN = 0.16238
 Approximate significance level = 4.4863E-5 (približna razina značajnosti)

Odbacuje se, hipoteza o mogućnosti modeliranja podataka eksponencijalnom razdiobom (razlike empiričkih i teorijskih učestalosti nisu slučajne)

b) Weibullova razdioba

Shape (beta): 0.861727
Scale (eta): 65.9803

Tablica 4.13. Prikaz χ^2 testa za podatke stroja 3 (Weibullova razdioba) :

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		24.706	74	70.8	.1443
	24.706	49.412	40	39.1	.0213
	49.412	74.118	14	25.9	5.4680
	74.118	98.824	20	18.0	.2309
	98.824	123.529	17	12.8	1.3977
	123.529	148.235	13	9.2	1.5330
	148.235	172.941	6	6.8	.0857
	172.941	222.353	7	8.7	.3380
	222.353	296.471	8	6.5	.3558
above	296.471		4	5.3	.3079

Chisquare = 9.88257 with 7 d.f. Sig. level = 0.195326 (razina značajnosti)

$P(\chi^2 > \chi_0^2) > 0.05$ Prihvaća se hipoteza o samo slučajnim razlikama empiričkih i teorijskih učestalosti

Kolmogorov - Smirnov (K-S) test:

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.109083
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.112592
Estimated overall statistic DN = 0.112592
Approximate significance level = 0.0116353 (približna razina značajnosti)

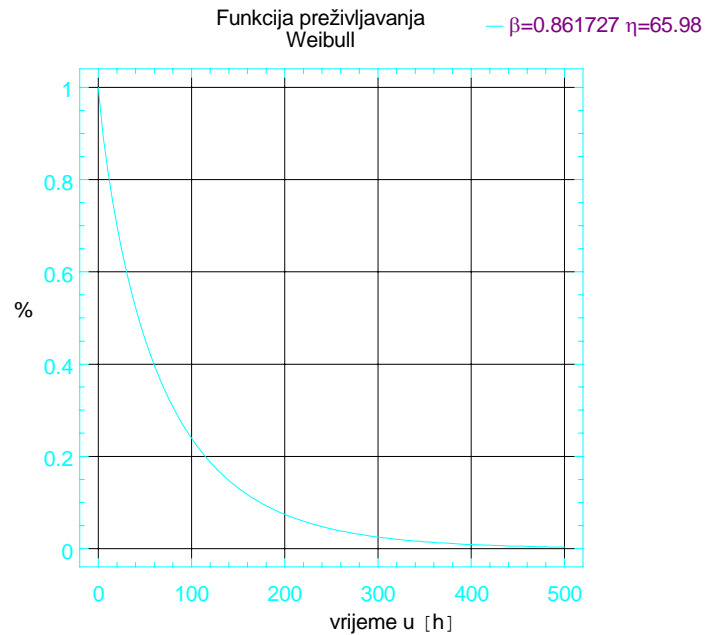
Odbacuje se hipoteza o mogućnosti modeliranja podataka Weibullovom razdiobom, (razlike empiričkih i teorijskih učestalosti nisu slučajne).

(Podaci MTBF za stroj IZ-3 ne slijede eksponencijalnu razdiobu)

(Podaci MTBF za stroj IZ-3 ne slijede Weibullovu razdiobu)

Provedeno je dodatno testiranje podataka na gama i Galtonovu (lognormalnu) razdiobu, te su rezultati K-S testa pokazali da podaci ne slijede niti jednu od navedenih teorijskih razdioba. Po rezultatima K-S testa svih razdioba može se pretpostaviti da testirani podaci ipak najbliže slijede Weibullovu razdiobu.

Slika 4.13. Funkcija pouzdanosti stroja 3



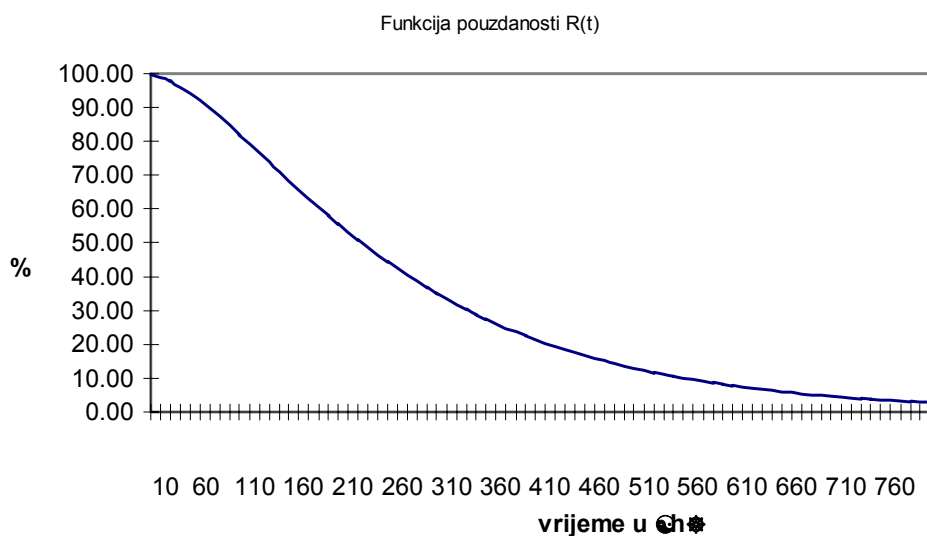
Na kraju proračuna eksploatacijske pouzdanosti za svaki stroj, može se još izračunati prosječna pouzdanost svih strojeva ili prosječna pouzdanost svake grupe. Korisniku opreme ili stručnjacima održavanja potrebne su podloge za odlučivanje o vrsti zahvata održavanja i njegovoj učestalosti, a povremeno te iste podloge za odlučivanje o nabavi nove opreme. U svakom slučaju najbolje je rezultate eksploatacijske pouzdanosti imati za svaki stroj, kako je to ovdje i urađeno. Tablicom 4.14. prikazane su sve brojčane veličine eksploatacijske pouzdanosti za četiri stroja po danima rada (baza je 16 sati rada dnevno).

Tablica 4.14. Vrijednosti eksploatacijske pouzdanosti strojeva broj: 1,2,3 i 4 po satima rada (jedan dan 16 sati)

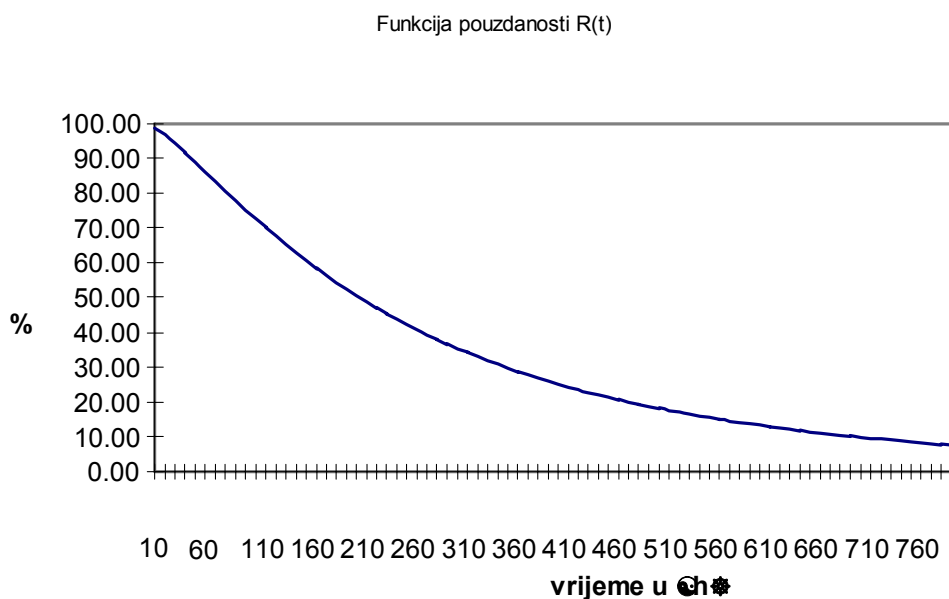
Stroj broj	t [h]	R [%] ekspo- nencija- lna razdioba	R [%] Weibull- ova razdioba	1	144	77.66	69.49	1	352	53.90	47.22	2	32	78.58	80.69
1	0	100.00	100.00	1	160	75.51	67.28	1	368	52.41	45.94	2	48	69.65	71.87
1	16	97.23	94.04	1	176	73.42	65.17	1	384	50.96	44.71	2	64	61.74	63.85
1	32	94.54	89.79	1	192	71.39	63.17	1	400	49.55	43.51	2	80	54.73	56.61
1	48	91.92	86.11	1	208	69.41	61.25	1	416	48.17	42.36	2	96	48.51	50.11
1	64	89.37	82.80	1	224	67.49	59.43	1	432	46.84	41.25	2	112	43.00	44.30
1	80	86.90	79.76	1	240	65.62	57.68	1	448	45.54	40.17	2	128	38.12	39.12
1	96	84.49	76.94	1	256	63.80	56.00	1	464	44.28	39.13	2	144	33.79	34.51
1	112	82.15	74.31	1	272	62.03	54.39	1	480	43.05	38.12	2	160	29.95	30.42
1	128	79.87	71.83	1	288	60.31	52.84	1	496	41.86	37.14				
				1	304	58.64	51.36	1	512	40.70	36.20				
				1	320	57.02	49.93								
				1	336	55.44	48.55	2	0	100.00	100.00				
								2	16	88.64	90.25				

2	176	26.55	26.79	3	0		100.00	3	352		1.45	4	176	25.04	24.91
2	192	23.54	23.57	3	16		74.46	3	368		1.23	4	192	22.08	22.09
2	208	20.86	20.73	3	32		58.51	3	384		1.04	4	208	19.47	19.59
2	224	18.49	18.22	3	48		46.76	3	400		0.89	4	224	17.17	17.39
2	240	16.39	16.00	3	64		37.75	3	416		0.75	4	240	15.14	15.44
2	256	14.53	14.04	3	80		30.71	3	432		0.64	4	256	13.35	13.72
2	272	12.88	12.32	3	96		25.12	3	448		0.55	4	272	11.77	12.19
2	288	11.42	10.80	3	112		20.64	3	464		0.47	4	288	10.38	10.83
2	304	10.12	9.47	3	128		17.03	3	480		0.40	4	304	9.15	9.63
2	320	8.97	8.30	3	144		14.10	3	496		0.34	4	320	8.07	8.57
2	336	7.95	7.27	3	160		11.70	3	512		0.29	4	336	7.11	7.62
2	352	7.05	6.36	3	176		9.74	4	0	100.00	100.00	4	352	6.27	6.78
2	368	6.25	5.56	3	192		8.12	4	16	88.17	86.81	4	368	5.53	6.04
2	384	5.54	4.87	3	208		6.79	4	32	77.75	76.04	4	384	4.88	5.37
2	400	4.91	4.26	3	224		5.69	4	48	68.55	66.83	4	400	4.30	4.79
2	416	4.35	3.72	3	240		4.77	4	64	60.44	58.85	4	416	3.79	4.26
2	432	3.86	3.25	3	256		4.01	4	80	53.29	51.91	4	432	3.34	3.80
2	448	3.42	2.84	3	272		3.37	4	96	46.99	45.83	4	448	2.95	3.38
2	464	3.03	2.48	3	288		2.84	4	112	41.43	40.51	4	464	2.60	3.02
2	480	2.69	2.16	3	304		2.40	4	128	36.53	35.84	4	480	2.29	2.69
2	496	2.38	1.89	3	320		2.03	4	144	32.21	31.72	4	496	2.02	2.40
2	512	2.11	1.65	3	336		1.71	4	160	28.40	28.10	4	512	1.78	2.14

Teorijski može biti zanimljivo (u praksi se obično ne upotrebljava) proračunati vrijednost eksploatacijske pouzdanosti jedne grupe strojeva pod pretpostavkom da je bitno da radi bar jedan stroj iz grupe. To je i urađeno za prvu grupu strojeva (broj-6 i broj-8) i prikazana je vrijednost eksploatacijske pouzdanosti, grafički na slici 4.14. za eksponencijalnu razdiobu, a na slici 4.15. za Weibullovu.



Slika 4.14. Eksploatacijska pouzdanost strojne grupe “1” po eksponencijalnoj razdiobi



Slika 4.15. Eksploatacijska pouzdanost strojne grupe “1” po Weibullovoj razdiobi

4.5 Rezultati istraživanja raspoloživosti i eksploatacijske pouzdanosti

Dobiveni rezultati za dvije istraživane značajke kvalitete opreme (pouzdanost i raspoloživost) pokazuju sigurno razinu kvalitete snimane opreme. Ti se rezultati mogu koristiti u relativnim usporedbama slične opreme različitih proizvođača. Ova usporedba omogućava da se s tehničkog aspekta uspješnije odlučuje o izboru proizvođača pri nabavi nove opreme. Isto tako moguća je relativna usporedba iste opreme instalirane u više poduzeća, pa se na temelju toga može zaključiti o kvaliteti rukovanja ili održavanja u pojedinom poduzeću.

Uspješno održavanje opreme svakako traži odgovore na više pitanja, kao npr: kako odrediti kvalitetu već instaliranog stroja, kako rangirati strojeve po kvaliteti, koje kriterije koristiti, kako povećati eksploatacijsku pouzdanost ili raspoloživost strojeva, ili kako planirati broj i asortiman potrebnih doknadnih dijelova? Za traženje odgovora na takva pitanja provedeno je daljnje istraživanje. Radi toga se u tablici 4.5. nalaze još dvije kolone, a to su šifre vrste kvarova (tablica 4.3.) i šifre dijelova i sklopova koji su bili u kvaru za vrijeme snimanja (tablica. 4.4.).

Rezultati istraživanja mogu se sažeti u sljedeće zaključke:

1. Analizirajući rezultate raspoloživosti proizvodne opreme uočava se da su vrijednosti raspoloživosti svih strojeva uglavnom veće od 90% i da su prilično jednolike tijekom vremena promatranja. Ako se dogodila znatnija promjena raspoloživosti stroja, ona je skokovita i iznosi od 5 do 10% od srednje vrijednosti raspoloživosti tijekom promatranih kvartala. Uzrok nastanka skokovitih padova raspoloživosti strojeva je u 73% slučajeva preventivni pregled ili planski popravak. Ostali uzroci iznenadnih padova raspoloživosti strojeva su: mehanički kvar nepoznatog uzroka, izgaranje elektromotora, trošenje ili čvrsto nasjedanje, lom ili deformacija, kvar na električnim instalacijama itd. Vjerojatno su ti kvarovi, uz planske popravke ili preglede, zahtijevali dosta vremena za njihovo uklanjanje (popravak), te su se odrazili na raspoloživost strojeva u tom razdoblju. Ako bi se željela detaljnija analiza raspoloživosti strojeva, tada bi trebalo istražiti sve čimbenike koji su utjecali na raspoloživost strojeva u promatranom vremenu.

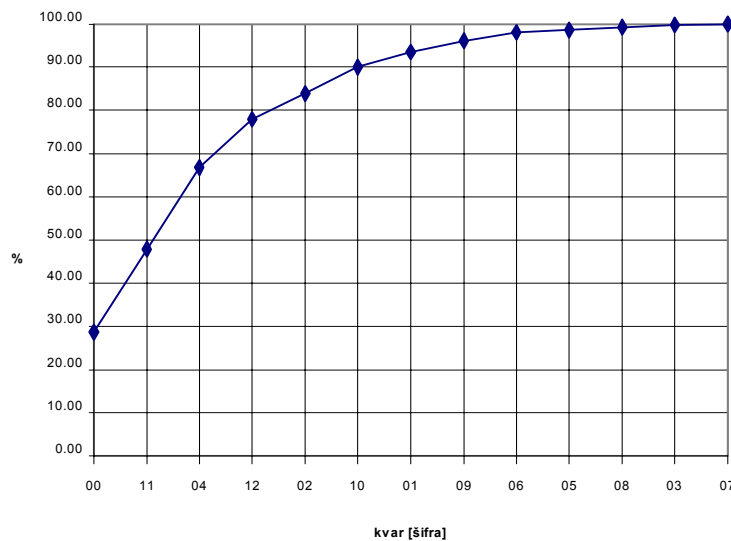
2. Broj pojavljivanja istovrsnih kvarova može se obraditi *ABC* - tehnikom. Ta se analiza koristi za rangiranje određenih pojava (u ovom su slučaju kvarovi) i može jasno prikazati koji su najčešći kvarovi na strojevima i za svaki kvar u odnosu na njegov broj pojavljivanja odrediti rang. To ne mora značiti da ti kvarovi odnose i najviše vremena za popravak, ali sigurno znatno utječu na raspoloživost strojeva. *ABC* - tehnikom se rezultat može prikazati u obliku tablice vrijednosti ili u obliku *ABC* dijagrama prioriteta. Uobičajna pravila za određivanje granica pojedine grupe *A*, *B* i *C* nisu determinirana već se kreću u dogovorenim granicama:

- a)* u grupu *A* spadaju kvarovi, planski popravci ili pregledi koji iznose 70-80% ukupnih kvarova,
- b)* u grupu *B* spadaju kvarovi koji pribrojeni grupi *A* zajedno iznose 90-95% ukupnih kvarova,
- c)* u grupu *C* spadaju kvarovi od gornje granice grupe *B* do kraja dijagrama, što ukupno daje cca 5-10% ukupnih kvarova.

Na slici 4.16. prikazani su podaci o broju pojavljivanja kvarova za sve strojeve, a za kvar je uzet i planski popravak i preventivni pregled, jer izazivaju zastoj i tako smanjuju raspoloživost opreme. Tablični pregled izračunatih vrijednosti dan je u tablici 4.15, pa se lako može uočiti koji su kvarovi u grupi *A*.

Tablica 4.15. ABC analiza po vrstama kvarova

Kvar [šifra]	Učestalost	Kumulativna učestalost	Rel. učestalost [%]	Rel. kumulativna učestalost [%]
00	1026	1026	28.72	28.72
11	683	1709	19.12	47.83
04	678	2387	18.98	66.81
12	397	2784	11.11	77.92
02	217	3001	6.07	83.99
10	213	3214	5.96	89.95
01	127	3341	3.55	93.51
09	92	3433	2.57	96.08
06	72	3505	2.02	98.10
05	21	3526	0.59	98.68
08	21	3547	0.59	99.27
03	20	3567	0.56	99.83
07	6	3573	0.17	100.00



Slika 4. 16. ABC analiza po vrstama kvarova (s aspekta raspoloživosti)

3. Primjena ABC - analize rezultirala je spoznajom da:

- četiri vrste kvara uključujući planske popravke ili preglede (00,11,04,12), tj. 30.77% kvarova uzrokuju 77.92% zastoja,
- sljedeća tri kvara (02,10,01), pribrojena gornjoj grupi, uzrokuju 93.51% zastoja,
- ostalih šest vrsta kvarova (09,06,05,08,03,07) uzrokuju 6.49% zastoja.

4. Povećavanje raspoloživosti strojeva može se ostvariti djelovanjem na uzroke kvarova grupe A u svrhu sprječavanja njihova nastanka ili skraćivati vremena trajanja popravaka, planskih popravaka ili preventivnih pregleda. Dade se zaključiti da je raspoloživost visoka, ali se može povećati skraćenjem vremena preventive (bez obzira na preporuke proizvođača, treba koristiti ovdje snimljene podatke i proračune kako bi se moglo utvrditi odgovarajuće vrijeme cikličkih zahvata). Isto tako ostale tri vrste kvara iz grupe A treba analizirati i definirati radove održavanja ili rukovanja, koji će omogućiti njihovo rjeđe pojavljivanje.
5. Rezultati su realni, dobiveni na osnovi stvarnih podataka, a vrijednosti eksploatacijske pouzdanosti znatno osciliraju za različite strojeve. Tako vjerojatnost ispravnog rada pada na 50% kod nekih strojeva nakon 300 do 400 sati rada, a kod nekih pouzdanost

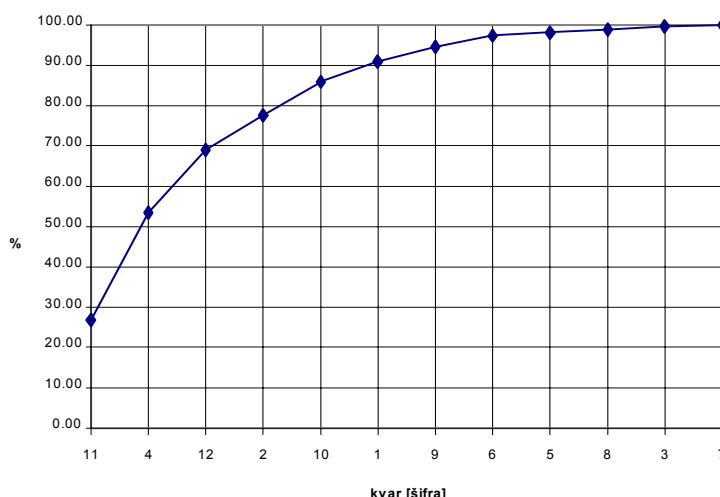
brzo pada na 50% nakon 100 sati rada. Postoje i slučajevi kod kojih pouzdanost iznosi 50% već nakon 40 ili 50 sati rada, a mnogo je primjera da pouzdanost iznosi 50% u vremenu od 50 do 100 sati rada.

Na osnovi dobivenih niskih vrijednosti pouzdanosti, može se zaključiti da se na proizvodnoj opremi pojavljuje veliki broj kvarova, koji uz relativno visoke vrijednosti raspoloživosti proizvodne opreme ($A > 90\%$), uglavnom ne uzrokuju duže zastoje proizvodne opreme u proizvodnom procesu.

6. Radi povećavanja pouzdanosti strojeva trebalo bi predvidjeti i spriječiti nastanak kvarova koji uzrokuju česte zastoje. Da bismo prikazali koji su najčešći kvarovi na strojevima, te koji se dijelovi najčešće kvare, možemo se poslužiti *ABC* - tehnikom. Za razliku od već provedene *ABC* - analize za određivanje najčešćih kvarova glede raspoloživosti strojeva (slika 4.16.), u slučaju analize eksploatacijske pouzdanosti strojeva koristit će se podaci o kvarovima bez zastoja uzrokovanih preventivnim pregledima i planskim popravcima, jer to nije slučajan zastoj, već je unaprijed planiran i kao takav ne smije utjecati na rezultate pouzdanosti strojeva. Na slici 4.17. prikazana je *ABC* analiza svih kvarova dijagramom prioriteta, a tablicom 4.16. dane su brojčane vrijednosti obavljene analize.

Tablica 4.16. ABC analiza po vrstama kvarova za sve strojeve (bez preventive)

Kvar [šifra]	Učestalost	Kumulativna učestalost	Rel.učestalost [%]	Rel. kumulativna učestalost. [%]
11	683	683	26.82	26.82
04	678	1361	26.62	53.44
12	397	1758	15.59	69.02
02	217	1975	8.52	77.54
10	213	2188	8.36	85.90
01	127	2315	4.99	90.89
09	92	2407	3.61	94.50
06	72	2479	2.83	97.33
05	21	2500	0.82	98.15
08	21	2521	0.82	98.98
03	20	2541	0.79	99.76
07	6	2547	0.24	100.00



Slika 4.17. ABC analiza po vrstama kvarova (bez preventive)

Zaključak koji se nameće dobivenim rezultatima na slici 4.17. glasi:

- **četiri vrste kvarova (11,04,12,02), tj. 33.33% od ukupnih kvarova uzrokuju 77.54% zastoja i upravo su oni ti prioriteti čije uzroke treba istražiti radi sprječavanja nastanka kvara, tj. u svrhu povećanja pouzdanosti strojeva.**

Valja primijetiti da prvo mjesto po učestalosti nastanka kvara zauzima kvar pod šifrom 11, što označava mehanički kvar nepoznatog uzroka. Treba imati u vidu da je njegova relativna učestalost od 26.82% prevelika da uzrok kvara ostane nepoznat, te bi trebalo predložiti stručnjacima održavanja da se sadašnji nepoznati uzrok kvara utvrdi i raščlani na kvarove koji ga sačinjavaju. Time bi se nesumnjivo dobili korisni podaci temeljem kojih bi se moglo utjecati na povećanje pouzdanosti i raspoloživosti proizvodne opreme.

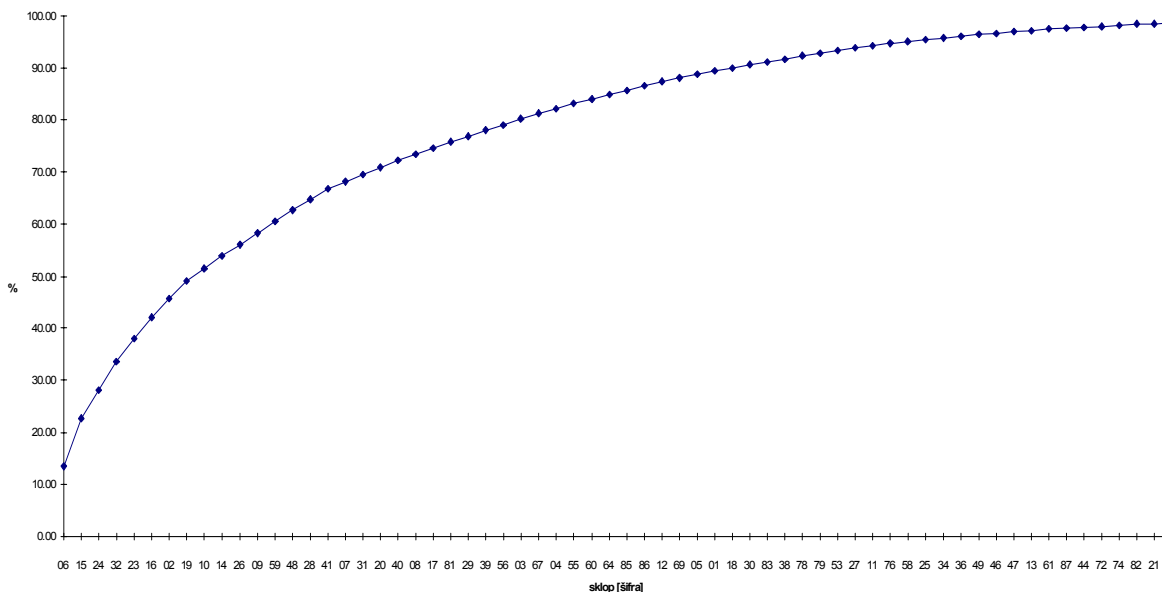
- **Analizirajući vrste kvarova i njihovu učestalost može se relativnim uspoređivanjem rezultata ABC tehnike s drugim poduzećima ocijeniti kvaliteta rada vlastitih radnika proizvodnje i održavanja.**

7. Da bi se odredili dijelovi i sklopovi koji najčešće uzrokuju kvar, potrebno je opet izraditi ABC analizu. Takva analiza prikazana je tablicom 4.17. i dijagramom prioriteta na slici 4.18.

Tablica 4.17. ABC analiza uzroka kvarova (DD i sklopovi)

Sklop [šifra]	Učestalost	Kumulativna učestalost	Rel. učestal. [%]	Rel. kumulat. učestal. [%]
06	341	341	13.39	13.39
15	234	575	9.19	22.58
24	143	718	5.61	28.19
32	138	856	5.42	33.61
23	111	967	4.36	37.97
16	106	1073	4.16	42.13
02	91	1164	3.57	45.70
19	85	1249	3.34	49.04
10	62	1311	2.43	51.47
14	58	1369	2.28	53.75
26	58	1427	2.28	56.03
09	57	1484	2.24	58.26
59	57	1541	2.24	60.50
48	56	1597	2.20	62.70
28	53	1650	2.08	64.78
41	49	1699	1.92	66.71
07	36	1735	1.41	68.12
31	36	1771	1.41	69.53
20	34	1805	1.33	70.87
40	33	1838	1.30	72.16
08	31	1869	1.22	73.38
17	31	1900	1.22	74.60
81	30	1930	1.18	75.78
29	29	1959	1.14	76.91
39	28	1987	1.10	78.01
56	28	2015	1.10	79.11
03	27	2042	1.06	80.17
67	27	2069	1.06	81.23
04	24	2093	0.94	82.18
55	23	2116	0.90	83.08
60	23	2139	0.90	83.98
64	22	2161	0.86	84.84
85	22	2183	0.86	85.71
86	22	2205	0.86	86.57
12	19	2224	0.75	87.32
69	19	2243	0.75	88.06
05	17	2260	0.67	88.73
01	16	2276	0.63	89.36
18	16	2292	0.63	89.99

30	15	2307	0.59	90.58
83	15	2322	0.59	91.17
38	14	2336	0.55	91.72
78	14	2350	0.55	92.27
79	14	2364	0.55	92.82
53	13	2377	0.51	93.33
27	12	2389	0.47	93.80
11	11	2400	0.43	94.23
76	11	2411	0.43	94.66
58	10	2421	0.39	95.05
25	9	2430	0.35	95.41
34	8	2438	0.31	95.72
36	8	2446	0.31	96.03
49	8	2454	0.31	96.35
46	7	2461	0.27	96.62
47	7	2468	0.27	96.90
13	6	2474	0.24	97.13
61	6	2480	0.24	97.37
87	6	2486	0.24	97.61
44	5	2491	0.20	97.80
72	5	2496	0.20	98.00
74	5	2501	0.20	98.19
82	5	2506	0.20	98.39
21	4	2510	0.16	98.55
45	4	2514	0.16	98.70
65	4	2518	0.16	98.86
37	3	2521	0.12	98.98
51	3	2524	0.12	99.10
63	3	2527	0.12	99.21
22	2	2529	0.08	99.29
42	2	2531	0.08	99.37
43	2	2533	0.08	99.45
50	2	2535	0.08	99.53
52	2	2537	0.08	99.61
57	2	2539	0.08	99.69
62	2	2541	0.08	99.76
70	2	2543	0.08	99.84
35	1	2544	0.04	99.88
71	1	2545	0.04	99.92
77	1	2546	0.04	99.96
84	1	2547	0.04	100.00



Slika 4.18. ABC Analiza uzroka kvarova (DD i sklopovi)

Primjenom ABC - tehnike za određivanje dijelova i sklopova koji su često u kvaru može se zaključiti sljedeće:

- **devetnaest dijelova ili sklopova su najčešće u kvaru**
(06,15,24,32,23,16,02,19,10,14, 26,09,59,48,28,41,07,31,20), tj. 21.84%
sklopova uzrokuju 70.87% kvarova, odnosno zastoja. To su kritična mjesta
koja treba kontrolirati u svrhu sprječavanja nastanka kvara, odnosno
zastoja, tj. radi povećanja pouzdanosti i raspoloživosti strojeva.

8. Na kraju vjerojatno je najvredniji rezultat, prosječno vrijeme trajanja svakog dijela ili sklopa, koji omogućava argumentirano planiranje i naručivanje DD po asortimanu i po količini. Ovo je svakako i stručnjacima održavanja jedna od najvažnijih informacija. Za ovu obradu podataka trebalo je po pojedinom stroju prikupiti informacije o kvarovima na istim dijelovima ili sklopovima i vremenskom intervalu između dva kvara istih dijelova.

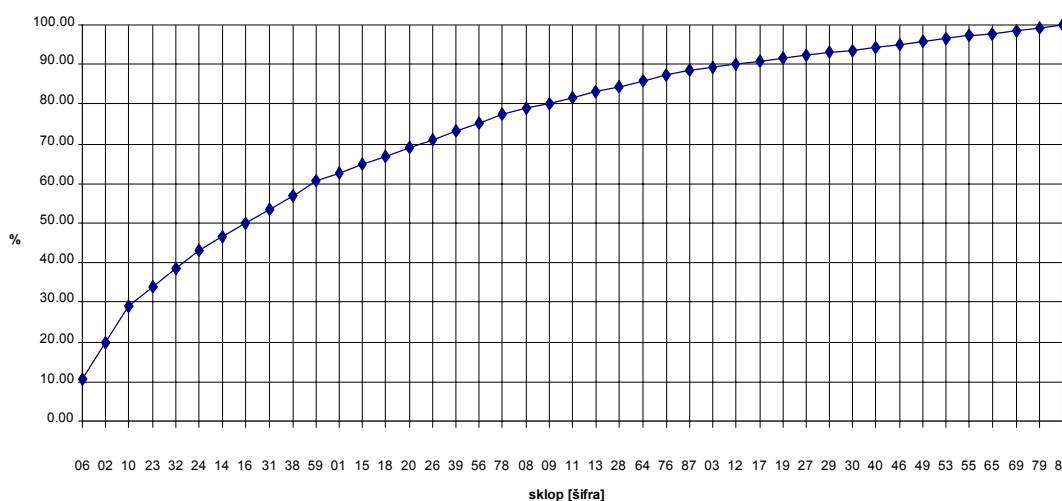
Za određivanje vremenskog intervala između kvarova na istim dijelovima ili sklopovima stroja, uzet je kao primjer stroj 30 iz strojne grupe 3, te je za njega izračunat srednji vremenski interval između pojave kvara (SVIK) istih uzročnika (DD ili sklopova). To neće biti svi dijelovi i sklopovi, već samo oni čija relativna kumulativna učestalost kvara na tim

mjestima, dobivena primjenom ABC - tehnike iznosi 50%. Obradeni rezultati ABC analize prikazani su za stroj 30 u tablici 4.18., a kasnije i slikom prioriteta 4.19.

Stroj broj 30

Tablica 4.18. ABC analiza uzroka zastoja za stroj 30

Sklop [šifra]	Učestalost	Kumulativna učestalost	Rel. učestal. [%]	Rel. kumulat. učestalost [%]
06	15	15	10.56	10.56
02	13	28	9.15	19.72
10	13	41	9.15	28.87
23	7	48	4.93	33.80
32	7	55	4.93	38.73
24	6	61	4.23	42.96
14	5	66	3.52	46.48
16	5	71	3.52	50.00
31	5	76	3.52	53.52
38	5	81	3.52	57.04
59	5	86	3.52	60.56
01	3	89	2.11	62.68
15	3	92	2.11	64.79
18	3	95	2.11	66.90
20	3	98	2.11	69.01
26	3	101	2.11	71.13
39	3	104	2.11	73.24
56	3	107	2.11	75.35
78	3	110	2.11	77.46
08	2	112	1.41	78.87
09	2	114	1.41	80.28
11	2	116	1.41	81.69
13	2	118	1.41	83.10
28	2	120	1.41	84.51
64	2	122	1.41	85.92
76	2	124	1.41	87.32
87	2	126	1.41	88.73
03	1	127	0.70	89.44
12	1	128	0.70	90.14
17	1	129	0.70	90.85
19	1	130	0.70	91.55
27	1	131	0.70	92.25
29	1	132	0.70	92.96
30	1	133	0.70	93.66
40	1	134	0.70	94.37
46	1	135	0.70	95.07
49	1	136	0.70	95.77
53	1	137	0.70	96.48
55	1	138	0.70	97.18
65	1	139	0.70	97.89
69	1	140	0.70	98.59
79	1	141	0.70	99.30
83	1	142	0.70	100.00



Slika 4.19. ABC analiza uzroka kvarova na stroju broj-30

Na temelju dobivenih rezultata ABC analize, DD i sklopovi koji sudjeluju u ukupno 50% zastoja na stroju 30 su: vodilice (06), kada žarenja (02), žarna glava (10), žarna rola (23),

remeni varijatora (32), sklopka (24), osigurač u trafo-stanici (14), krajnji kontakt (16). Za DD i sklopove učinjena je dodatna analiza vremenskog intervala između dva zastoja (SVIK) i prikazana u tablici 4.19. Na kraju su dobivena i

Tablica 4.19. Određivanje SVIK-a na istom dijelu ili sklopu stroja broj-30

Stroj	Zastoj na sklopu [šifra]	Datum	VDK [h]	SVIK [h]	Trajanje popravka [h]	Vrsta kvara [šifra]
30	06	29.05.89.	2346	2346	1.75	02
30	06	16.06.89.	2634	288	1.16	11
30	06	16.06.89.	2635	1	1	02
30	06	29.01.90.	6288	3653	0.5	04
30	06	05.02.90.	6400	112	1	10
30	06	11.02.90.	6498	98	0.25	04
30	06	28.02.90.	6771	273	0.83	09
30	06	10.05.90.	7924	1153	1.5	11
30	06	19.05.90.	8068	144	1	04
30	06	02.07.90.	8774	706	0.16	04
30	06	05.08.90.	9302	528	0.78	04
30	06	06.10.90.	10294	992	1	04
30	06	28.01.91.	12264	1970	0.5	04
30	06	29.01.91.	12280	16	0.25	04
30	06	25.03.91.	13148	868	1	04
30	02	19.04.89.	1653	1653	1	01
30	02	26.04.89.	1831	178	2.5	11
30	02	05.05.89.	1975	144	3.5	09
30	02	16.06.89.	2637	662	3.75	01
30	02	11.09.89.	4030	1393	7	06
30	02	19.09.89.	4158	128	1	12
30	02	27.01.91.	12248	8090	1.83	12
30	02	06.03.91.	12859	611	2	12
30	02	21.03.91.	13100	241	3.83	12
30	02	22.03.91.	13116	16	1	12
30	02	27.04.91.	13680	564	1.16	12
30	02	15.07.91.	14945	1265	1	01
30	02	16.12.91.	17330	2385	1.33	11
30	10	13.02.89.	593	593	0.16	11
30	10	11.04.89.	1509	916	1	10
30	10	24.04.89.	1797	288	0.25	08
30	10	15.05.89.	2135	338	10	10
30	10	31.07.89.	3357	1222	5.25	11
30	10	06.08.89.	3453	96	1.25	10
30	10	11.10.89.	4511	1058	8.5	12
30	10	18.05.90.	8052	3541	1	10
30	10	19.11.90.	10998	2946	3.5	10
30	10	10.01.91.	11831	833	0.75	10
30	10	21.03.91.	13099	1268	1.5	12
30	10	30.07.91.	15185	2086	2.5	04
30	10	04.11.91.	16657	1472	0.16	10
30	23	09.01.89.	49	49	1.16	04
30	23	22.05.89.	2266	2217	3.5	04
30	23	07.02.90.	6432	4166	0.58	04
30	23	15.02.90.	6562	130	0.08	04
30	23	24.04.90.	7651	1089	0.5	04
30	23	02.02.91.	12346	4695	1.75	04
30	23	03.03.91.	12811	465	0.5	10
30	32	06.01.89.	1	1	1	04
30	32	09.11.89.	4991	4990	2.5	11
30	32	22.05.90.	8116	3125	1	04
30	32	03.06.90.	8309	193	0.5	04
30	32	18.01.91.	11959	3650	1.5	02
30	32	27.06.91.	14657	2698	2	04
30	32	15.12.91.	17314	2657	1	11
30	24	07.07.90.	8854	8854	1.25	12
30	24	08.07.90.	8870	16	0.5	09
30	24	20.08.90.	9542	672	2	09
30	24	20.10.90.	10518	976	0.78	11
30	24	05.06.91.	14305	3787	8	12
30	24	17.12.91.	17346	3041	0.25	12
30	14	15.03.89.	1073	1073	0.66	12
30	14	22.05.90.	8117	7044	1.5	12
30	14	19.11.90.	10999	2882	1.25	04
30	14	10.03.91.	12923	1924	1	11
30	14	18.12.91.	17362	4439	1.86	04
30	16	23.04.89.	1733	1733	0.75	04
30	16	18.12.89.	5616	3883	0.66	04
30	16	15.12.90.	11415	5799	0.5	04
30	16	13.03.91.	12971	1556	2.25	04
30	16	29.06.91.	14689	1718	2.5	04

prosječna trajanja svakog od obrađenih DD i sklopova na stroju 30 i prikazani su u tablici 4.20.

Tablica 4.20. Rezultati prosječnog trajanja sklopova za stroj 30

Broj stroja:	Zastoj na sklopu [šifra]	SVIK [h]
30	06	876.53
30	02	1333.08
30	10	1281.31
30	23	1830.14
30	32	2473.43
30	24	2891.00
30	14	3472.40
30	16	2937.80

U zaključku istraživanja raspoloživosti i eksploatacijske pouzdanosti treba naglasiti da statističke metode nadzora pouzdanosti primijenjene na ovom uzorku mogu dati vrlo vrijedne podatke i podloge za donošenje argumentiranih odluka. Na temelju dobivenih rezultata raspoloživosti, eksploatacijske pouzdanosti, kao i srednjeg vremena između dva kvara, održavanje treba biti uspješnije jer su dobro utemeljene mnoge važne odluke:

- a) izbor strategije održavanja (veliki raspon vrijednosti SVIK-a za jedan stroj ukazuju na potrebu uvođenja održavanja po stanju, a ako je malo rasipanje na cikličke planske zahvate),
- b) izbor proizvođača opreme i tip (relativnom usporedbom vrijednosti raspoloživosti ili eksploatacijske pouzdanosti pojedinih grupa istih strojeva različitih proizvođača - u ovom je istraživanju kriterij podjele na grupe strojeva bio proizvođač opreme - može se odabrati najbolji proizvođač, tj najbolji tip stroja),
- c) izbor tehnologija održavanja (npr veliko rasipanje SVIK-a ukazuje na potrebu nabave dijagnostičke opreme i mjerenje ključnih veličina),

- d) ciklus kontrole (preventivni pregledi jednog stroja ili grupe strojeva planiraju se prema izračunatim srednjim vremenima između dva kvara na jednom stroju),
- e) ciklus zamjene DD (ciklus planskih popravaka definira se prema SVIK-u - srednje vrijeme trajanja DD- za svaki stroj ili grupu strojeva, tako da se zamjene u jednom popravku svi kojima ističe izračunati prosječni vijek trajanja),
- f) planiranje i naručivanje DD (prosječni SVIK- za svaki DD - izračunato i prikazano u tablici 4.20. za stroj broj 30 - je podatak temeljem kojeg se određuje asortiman i količina DD za određeno plansko razdoblje), itd.

5. OBLIKOVANJE PROCESA ODRŽAVANJA

5. 1. Metode i tehnike oblikovanja procesa održavanja

Tehnološkim razvojem industrijske opreme razvija se proizvodnja i njezino održavanje. Problemi organizacije poduzeća i njegovih funkcija s vremenom postaju sve složeniji, jer je sve zahtjevnija konkurencija na tržištu, a to prije svega znači da treba voditi računa o isporuci robe na vrijeme, o cijeni gotovih proizvoda i njihovoj kvaliteti. Da se to može obaviti uspješno, potrebno je da i raspoloživost opreme bude visoka, a to znači da radovi održavanja trebaju biti kvalitetni i izvedeni na vrijeme.

Kod oblikovanja i projektiranja procesa održavanja karakteristična su dva pristupa ili dvije tehnike:

- primjena klasičnih tehnika (najčešće pomoću blok dijagrama),
- primjena tehnika i alata informacijskog inženjeringa (E-R dijagrami)³¹.

O prvom pristupu postoji brojna literatura pa nema razloga za opisom u ovom radu, dok o primjeni tehnika i alata informacijskog inženjeringa na području održavanja gotovo da i nema značajnije literature.

Problemi prisutni kod projektiranja, izgradnje i organizacije poduzeća inicirali su, posebice razvojem informacijskih sustava kao važnog elementa uspješnosti poslovanja, prije dvadesetak godina razvoj **informacijskog inženjeringa**. Zbog kompleksnosti problema, sve donedavno bilo je teško povezati sve aktivnosti u procesu i informacijske tijekove. Problem je bio u velikom broju i intenzitetu promjena (unutar i izvan poduzeća), koje prate funkcioniranje svakog poduzeća. Razvoj računarskih pomagala i alata u posljednjih nekoliko godina omogućio je prijenos različitih zahtjeva poslovanja nekog poduzeća u funkcionalan informacijski sustav, koji će biti u stanju pratiti promjenljive zahtjeve poduzeća i okruženja te ažurirati nastale promjene. Za odgovor na pitanje, što je informacijski inženjerig može poslužiti sljedeća definicija:

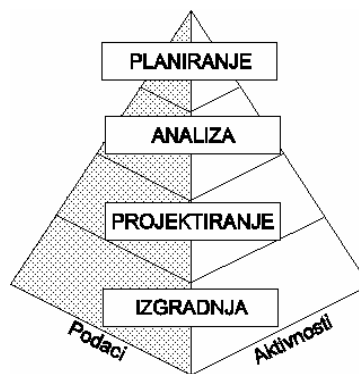
³¹ E-R , eng. Entity - Relationship, dijagram entiteta i njihovih relacija

Informacijski inženjering predstavlja primjenu nepreklapajućih skupova formalnih tehnika za planiranje, analizu, projektiranje i izgradnju informacijskih sustava, primijenjenih na čitavo poduzeće ili na njegov glavni dio /16/.

Informacijski inženjering je usmjeren na planiranje, oblikovanje i projektiranje sustava cijelog poduzeća. Pri tome se koriste automatizirane tehnike pa će u tom odnosu informacijski inženjering biti:

Skup nepreklapajućih automatiziranih tehnika s kojima se modeli poduzeća, modeli podataka i modeli procesa ugrađuju u razgranatu bazu znanja i koje se upotrebljavaju za kreiranje i održavanje sustava obrade podataka /16/.

Najjednostavnija je definicija J. Martina, koji kaže da je informacijski inženjering skup automatiziranih disciplina čitavog poduzeća za davanje pravih informacija pravim ljudima u pravo vrijeme. Postupak rada u informacijskom inženjeringu može se prikazati slikom 5.1. kako ga vidi J. Martin.

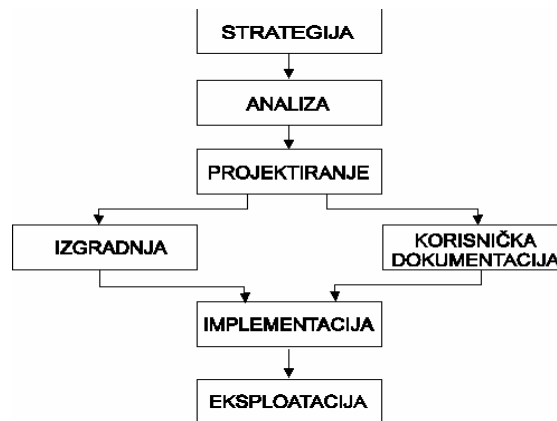


Slika 5.1. Prikaz informacijskog inženjeringa /32/

Na slici 5.1. dat je uobičajni prikaz razvoja IS-a upotrebom metodologije informacijskog inženjeringa u obliku piramide, čija se lijeva strana odnosi na podatke, a desna na aktivnosti.

Razvoj informacijskog sustava pomoću CASE³² alata sastoji se po R. Barker-u od četiri faze:

- strategije (planiranja),
- analize,
- projektiranja,
- izgradnje.



Slika 5.2. Životni ciklus razvoja aplikacije /33/

Razlika je između ova dva pristupa u tome da R. Barker detaljno još navodi nakon projektiranja i izradu korisničke dokumentacije, a zatim implementaciju i eksploataciju.

CASE ima tri važne komponente, a to su **metode, tehnike i alati**. Kod toga strukturirane **metode** omogućuju organiziran radni okvir za razvoj sustava. To znači definiranje razvojnih faza, zadataka koje treba izvršiti, standarda koji se koriste, provjere kvalitete itd. Za primjenu strukturiranih metoda koristi se skup **tehnika** koje se upotrebljavaju za opis različitih zahtjeva poduzeća uključujući tijek podataka i kreiranje veza među entitetima³³. CASE **alati** osiguravaju implementaciju spomenutih tehnika s ciljem identifikacije, modificiranja i elaboriranja zahtjeva sustava, a to znači da omogućuju crtanje, opisivanje, spremanje elemenata sustava, i gdje je to moguće automatsko generiranje aplikativnih rješenja /38/. Može se zaključiti na temelju spomenutog, da CASE alati i informacijski inženjering omogućavaju nesmetan rad kako po fazama razvoja informacijskog sustava poduzeća tako i po funkcijama/16/.

³² Computer Aided Systems (Software) Engineering - Računalom potpomognut sustavni (software-ski) inženjering.

³³ Entitet je stvar od značaja, stvarna ili zamišljena, o kojoj je potrebno znati ili sakupljati informacije /32/

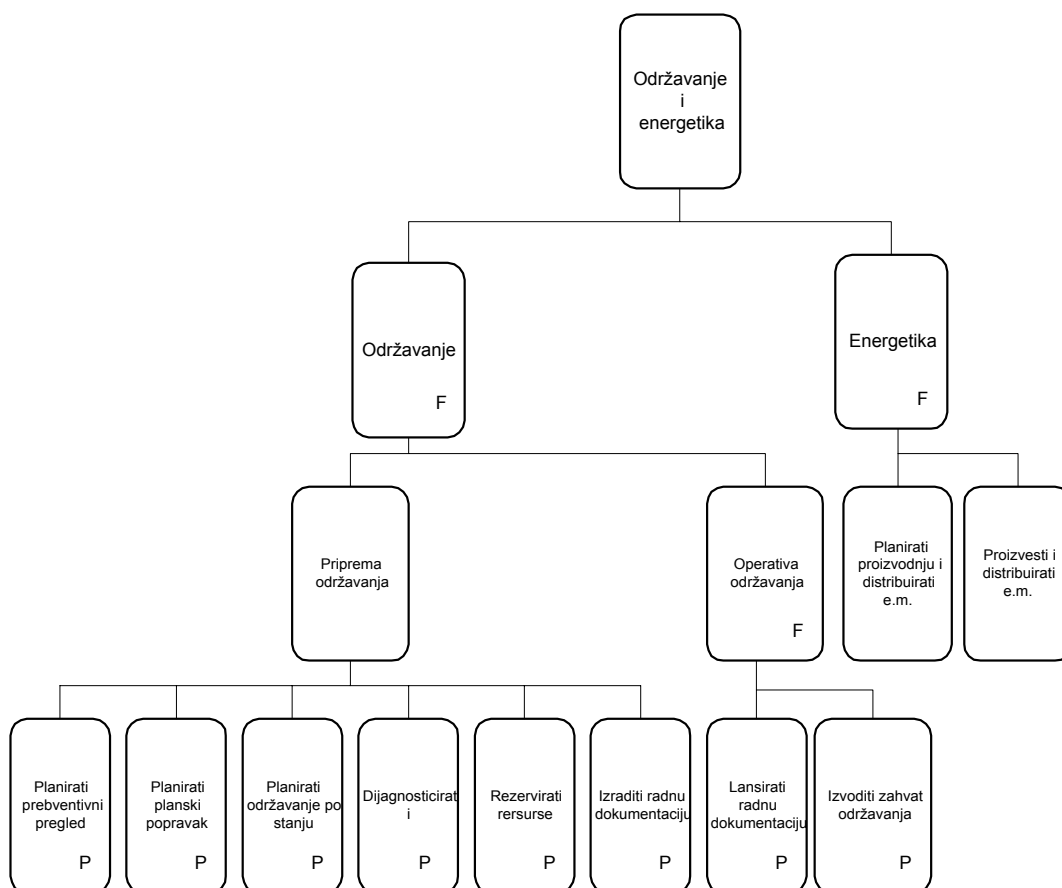
U ovom se radu, uz klasičan blok dijagram, procesi održavanja oblikuju primjenom CASE alata (firme Knowledgeware). Za korištenje SW potrebno je poznavati simbole i način prikazivanja funkcije, procesa, veza, entiteta i kardinalnosti (količina jednog tipa podataka povezana s drugim tipom podataka) /16/. Osim navedenog važan je i pojam atributa, a to je bilo koji detalj koji služi kvalificiranju, identificiranju, klasificiranju, kvantificiranju ili izražavanju stanja entiteta. Atribut može biti tekst, brojevi, slike, i mora opisivati entitet kojem pripada. Na kraju, atributi se ne vide u dijagramima entiteta (proces, npr. održavanja), već se za odabrani entitet mogu prikazati listom ili tablicom.

5. 2. Proces održavanja industrijske opreme

Određenjem pristupa u 1. poglavlju i statusa funkcije održavanja u točki 2.2. (vidi sliku 2.1.), ispunjena je osnovna pretpostavka za analizu procesa održavanja. Treba napomenuti da se na slici 2.1. uz funkciju održavanja navodi i energetika, tako da su prisutne dvije različite podfunkcije. U ovom se radu tretira samo održavanje i to kao funkcija, što za ovo istraživanje nema nikakav negativan utjecaj.

Pojednostavljeno, proces općenito predstavlja skup aktivnosti kojima se mijenja stanje u nekom sustavu. Proces se zbiva u vremenu a posljedica je razmjena energije, materijala i informacija unutar sustava ili između sustava i okoline. Prema tome i proces održavanja opreme predstavlja skup svih aktivnosti kojima se neki tehnički sustav zadržava u ispravnom stanju ili vraća u takvo stanje. Ovdje ispravno stanje znači da tehnički sustav uspješno izvršava zadanu funkciju.

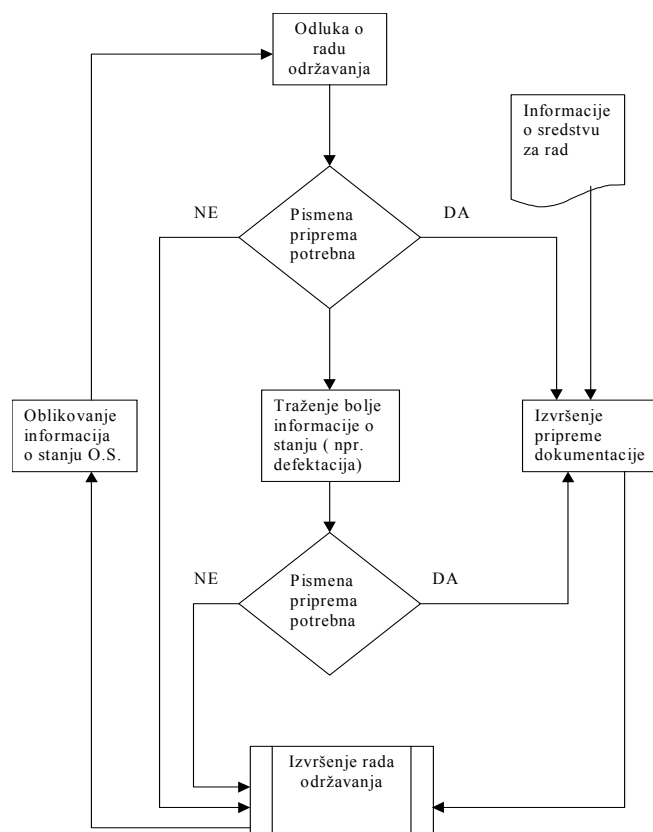
U oblikovanju procesa održavanja primjenom CASE alata i tehnika karakteristična je dekompozicija funkcija. Takvim se postupkom sustavno određuje cjelovita hijerarhijska struktura svakog procesa. Dekomponiranjem funkcije održavanja do osnovnih procesa dobiva se pregled i redoslijed tzv. standardnih aktivnosti, koje čine okosnicu pojedinih procesa održavanja. Na slici 5.3. prikazan je rezultat dekompozicije funkcije održavanja i energetike.



Slika 5.3. Dekompozicija funkcije održavanja /16/

Dekompozicija funkcije održavanja je završena s osnovnim procesima dok je za energetiku prikaz samo do treće razine: proces planiranja proizvodnje i distribucije energetske medija i proces proizvodnje i distribucije energetske medija.

U ovom radu polazi se od standardnih aktivnosti održavanja i njihove dekompozicije u procese. Kao za svaki tako i za proces održavanja, obavezan je i tijek informacija bez kojih se ne može zamisliti ni jedna suvremena koncepcija ili model održavanja, a sve to ovisi o izabranoj strategiji i tehnologiji održavanja. Općeniti prikaz tijeka informacija i aktivnosti u održavanju na klasičan način prikazan je na slici 5.4. /6/.



Slika 5.4. Dijagram tijeka održavanja opreme /6/

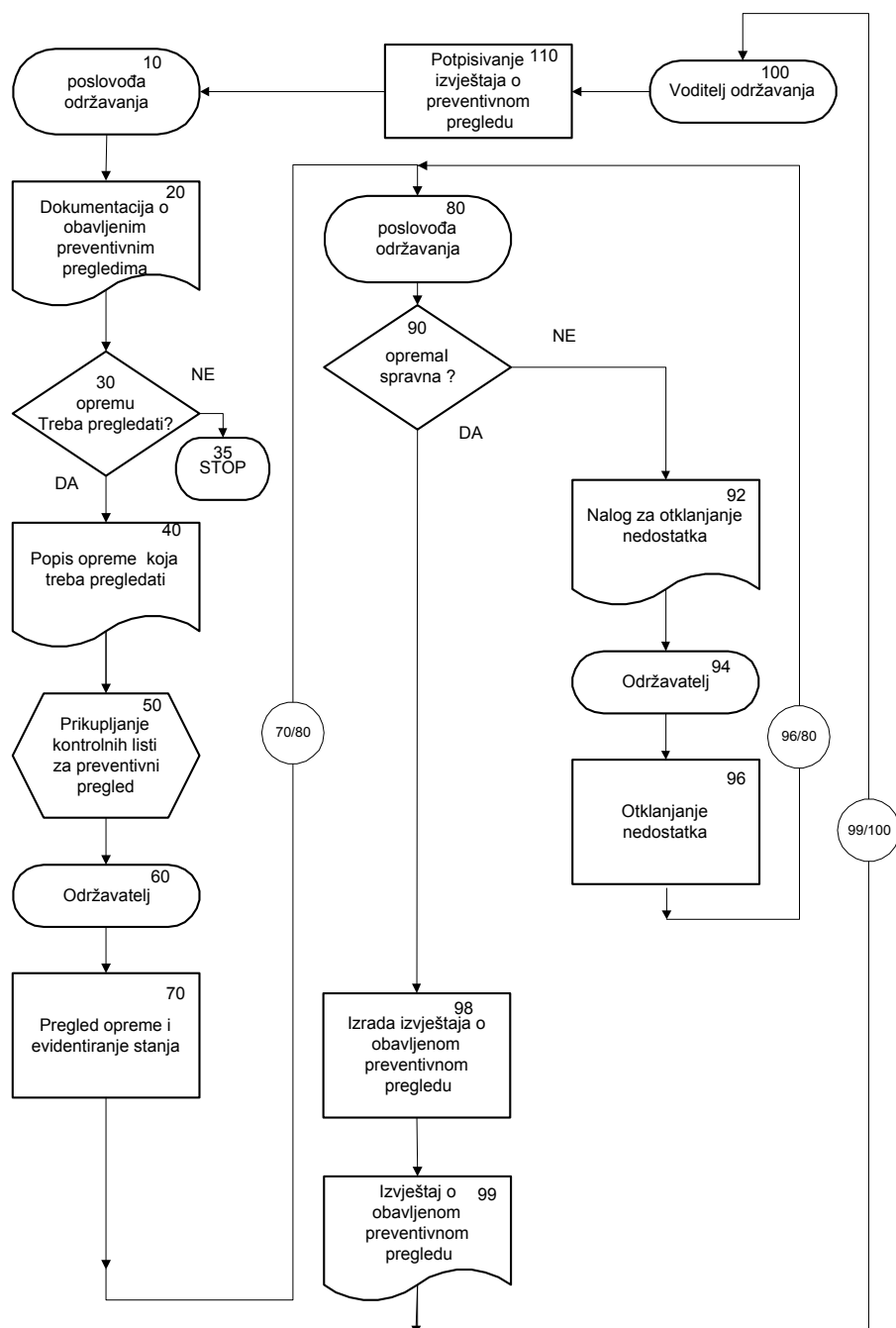
Svaki zadatak održavanja počinje temeljem pismenog ili usmenog zahtjeva, a dobivena informacija definira sljedeći tijek aktivnosti: direktno izvođenje aktivnosti popravka ili je potrebna priprema održavanja (radi izrade tehničke dokumentacije, shema, izdatnica materijala i slično).

Nakon izbora strategije održavanja dijeli se funkcija održavanja na nekoliko osnovnih procesa. U ovom radu je za strategiju izabrano plansko održavanje jer svojim pristupom omogućava veliku fleksibilnost pri donošenju odluke o vrsti zahvata održavanja za svaku pojedinačnu opremu, a to su:

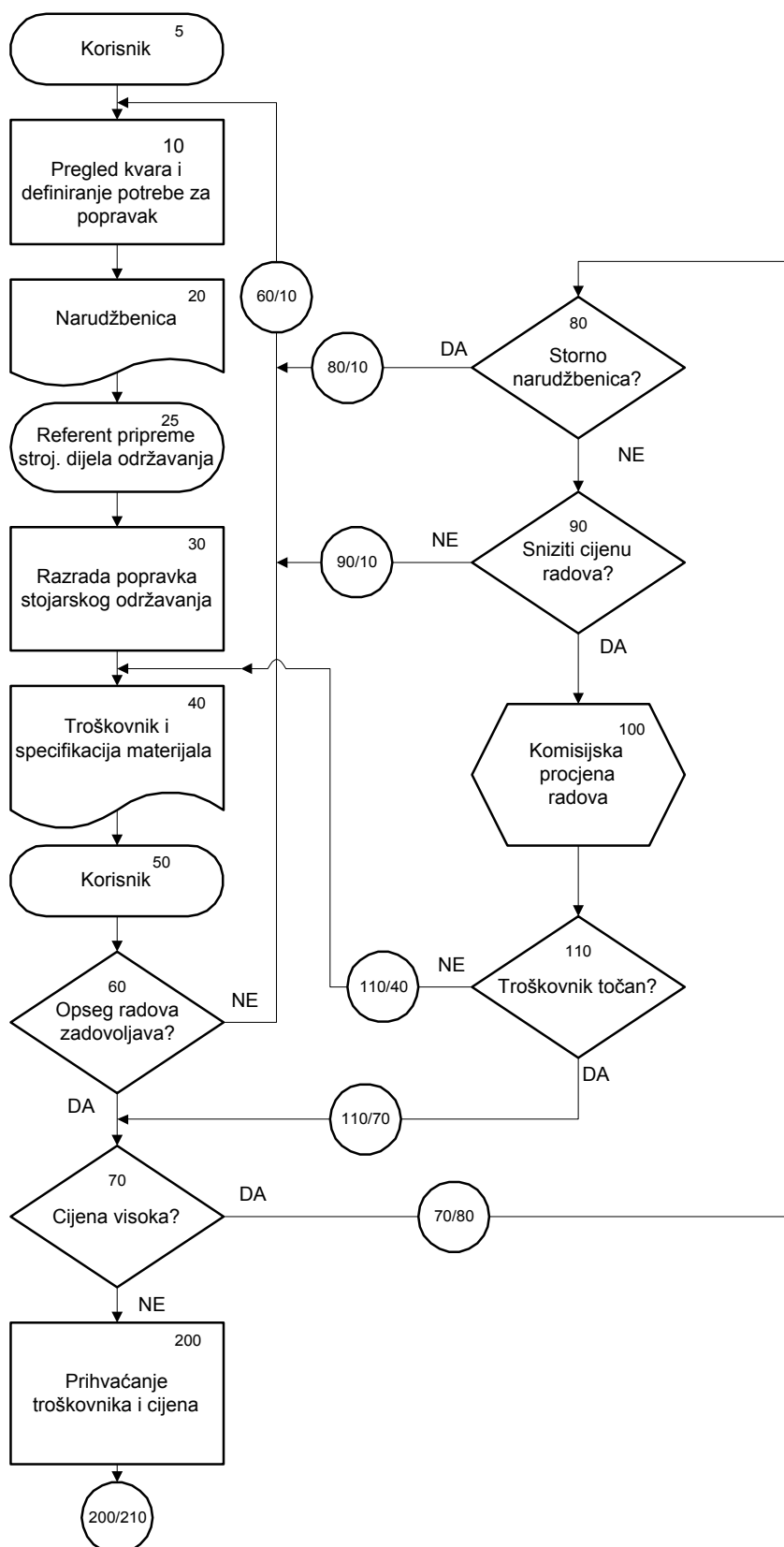
- preventivni pregledi,
- plansko podmazivanje,
- planski popravci,
- korektivni popravci,
- traženje i otklanjanje slabih mjesta,
- održavanje po stanju,

- nabavljanje doknadnih dijelova i materijala održavanja.

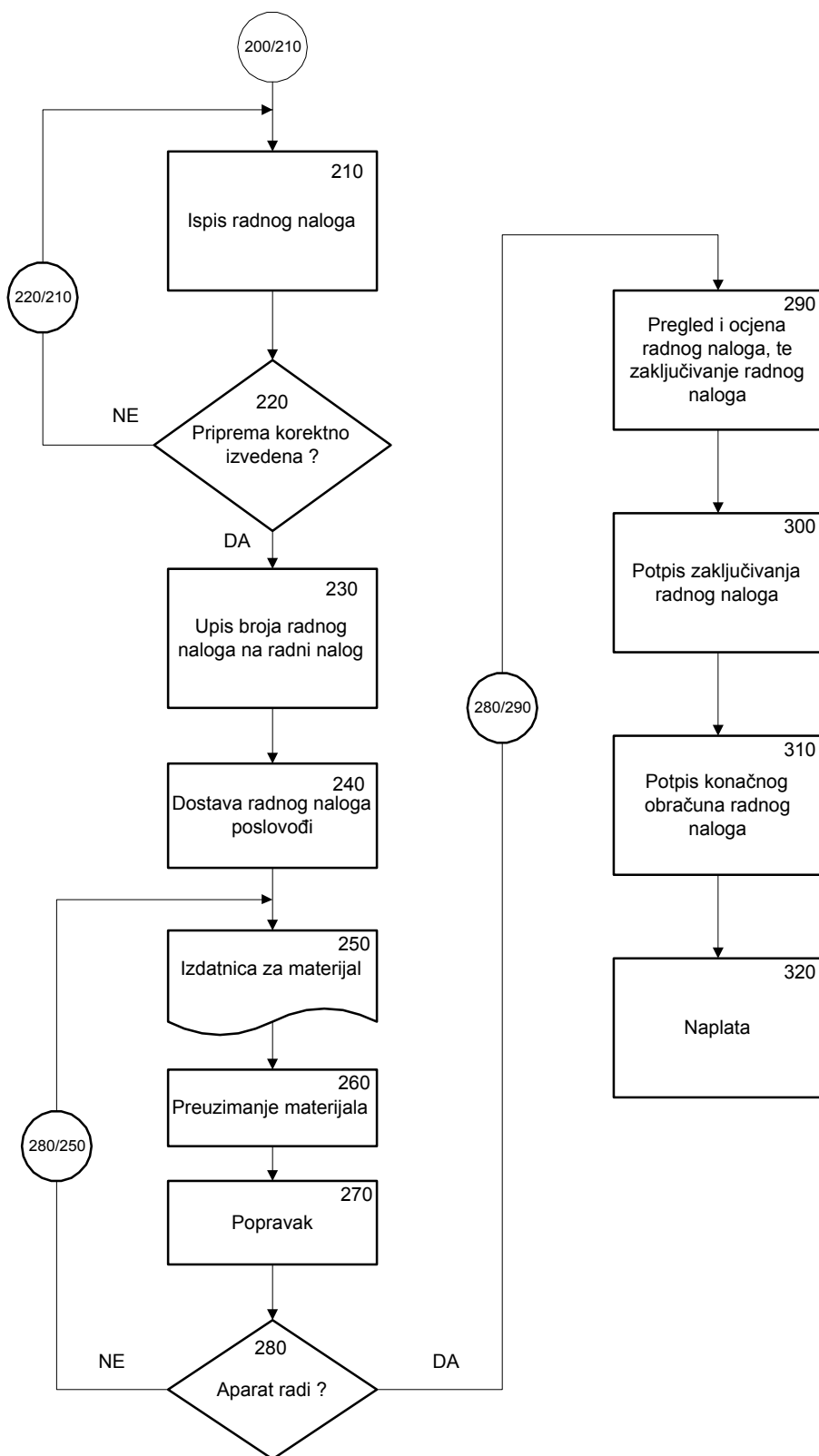
Standardni procesi održavanja oblikovani u klasičnoj tehnici blok dijagramima prikazani su za proces preventivnih pregleda na slici 5.5., i proces planskih popravaka na slici 5.6.



Slika 5.5. Blok dijagram proces preventivnih pregleda opreme



Slika 5.6. Blok dijagram proces planskih popravka opreme - nastavlja se



Slika 5.6. Blok dijagram proces planskih popravka opreme

U praksi se za prikaz detaljnog procesa često koristi isti način prikazivanja, no unose se sve moguće aktivnosti, odluke i dokumenti, kako bi proces bio potpunije oblikovan.

5.3. E-R dijagrami karakterističnih procesa održavanja

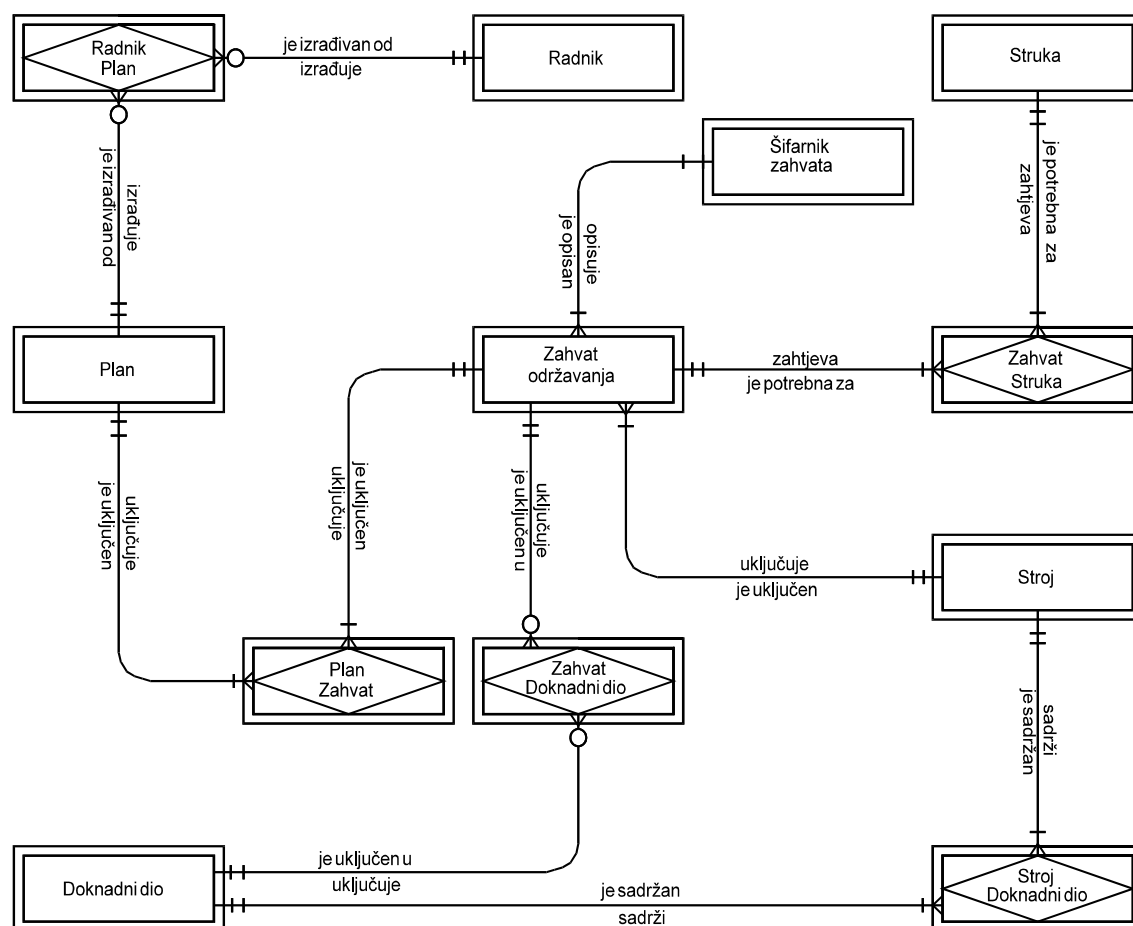
Koristeći CASE alate i tehnike E-R dijagramom bit će prikazani sljedeći procesi u održavanju:

- proces planskih popravaka,
- proces preventivnih pregleda,
- proces planskog podmazivanja,
- proces planiranja održavanja po stanju,
- proces praćenja i nabavljanja doknadnih dijelova.

U sklopu funkcije održavanja postoji još nekoliko procesa koji nisu prikazani dijagramom entiteta, a to su:

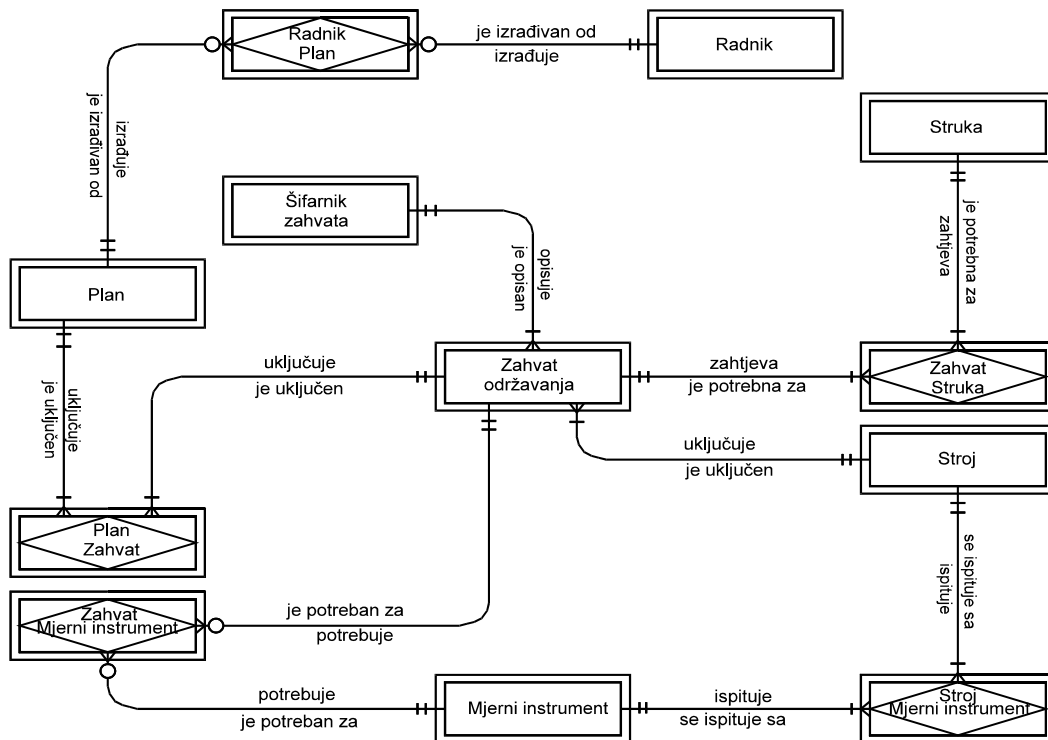
- proces nabavljanja nove opreme,
- proces određivanja zaduženja i praćenja djelatnika održavanja,
- proces izrade radne dokumentacije,
- proces izvođenja zahvata održavanja,
- proces lansiranja radne dokumentacije,
- proces praćenja i pozivanja servisa,
- proces statističke obrade zastoja,
- proces statističke obrade utrošenih dijelova,
- proces statističke obrade utrošenih sati rada u održavanju.

Kod procesa planskih popravaka kao jednog od najvažnijih, posebno u procesnoj industriji, glavni entitet je zahvat održavanja u kojem će se pohranjivati svi planirani i obavljeni zahvati planskih popravaka. E-R dijagram ovog procesa prikazan je na slici 5.7. Zahvat održavanja kao entitet opisan je sljedećim atributima: šifra zahvata, redni broj zahvata, šifra stroja, broj radnog naloga, kooperacija ili vanjska usluga, potreban broj djelatnika, šifra kontrolora, datum posljednjeg zahvata, interval zahvata, datum i



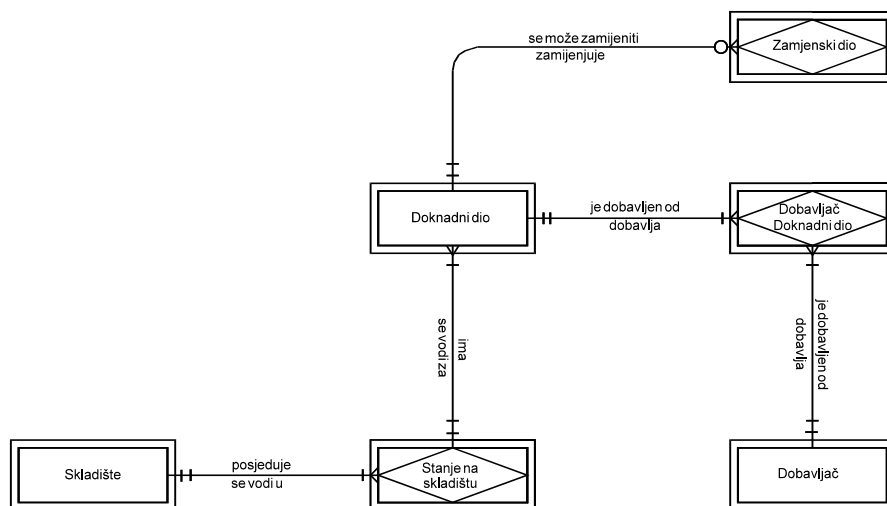
Slika 5.7. Proces planskih popravaka opreme

vrijeme početka i završetka zahvata. Ključ ovog entiteta je jedinstven i čini ga atribut: broj radnog naloga. Na ovaj način jednoznačno je definiran planski popravak za određenu opremu, jer oprema može imati više planskih popravaka, no u tom slučaju se mijenja i broj radnog naloga. U ovom prikazu procesa pojavljuju se i drugi entiteti, kao što su: plan, plan-zahvat, radnik, radnik-plan, šifra zahvata, struka, zahvat struka, oprema ili stroj, pozivanje servisa, doknadni dio. Uz taj se entitet uvode i dva asocijativna: stroj (oprema) - doknadni dio, zahvat održavanja - doknadni dio. Proces preventivnih pregleda je sličan procesu planskih popravaka, a prikazan je E-R dijagramom na slici 5.8. Većina entiteta su jednaki i već su spomenuti, jedino što se ovdje u entitet zahvata održavanja unose preventivni pregledi, a ne planski popravci. Na isti je način razrađen i proces planskog podmazivanja i prikazan slikom 5.9. U tom su



Slika 5.10. Proces održavanja po stanju

Za vođenje politike gospodarenja doknadnim dijelovima potrebno je također planirati ili definirati proces u kojem će biti jednoznačno propisane aktivnosti i potrebne informacije. Na slici 5.11. prikazan je E-R dijagram entiteta, a od toga su sljedeći novi entiteti tog procesa: dobavljač, dobavljač - doknadni dio, zamjenski dio, stanje na skladištu i skladište. Osnovni entitet tog procesa je **dobavljač** koji je određen sa sljedećim atributima: šifra dobavljača, naziv dobavljača, adresa, telefon, fax i ocjena. Ključni atribut ovog entiteta je jedinstvena šifra za svakog dobavljača. Drugi važni entitet je **dobavljač - doknadni dio**, kako bi se znalo koje DD može nabavljati određeni dobavljač, a atributi su šifra doknadnog dijela i šifra dobavljača. Slijedi asocijativni entitet **stanje na skladištu**, koji se sastoji od sljedećih atributa: šifra skladišta, šifra DD, datum promjene ili stanja, broj dokumenta, naručeno, izlaz, ulaz, stanje, rezervirano i slobodno, a služi za praćenje stanja pojedinih DD.



Slika 5.11. Proces praćenja i nabavljanja DD

Sve procese u održavanju izrađuje (planira i definira) skupina stručnjaka tehničkih i ekonomskih struka (timskim radom), a najčešće su to različite struke djelatnika održavanja, koji poznaju jako dobro instaliranu opremu.

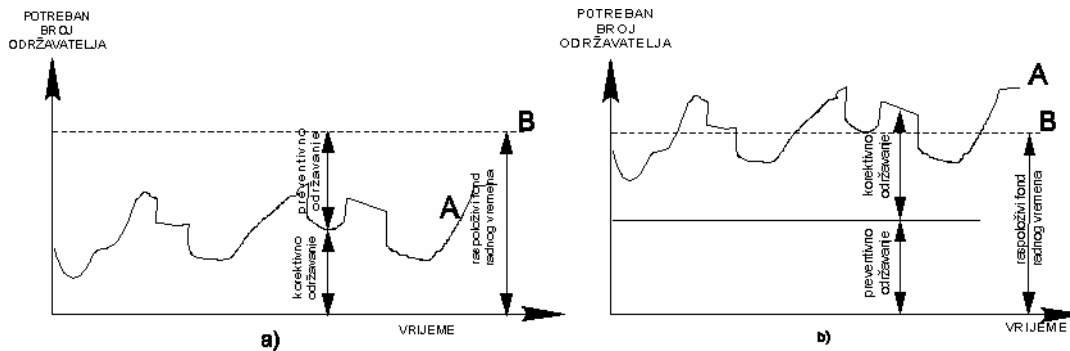
Klasični prikazi blok dijagramima dominiraju u vremenu kada se preferira naša izravna logika. Zbog toga će za većinu praktičara biti prihvatljiviji procesi oblikovani blok dijagramima na slikama 5.5. i 5.6. Stanje i trendovi razvoja računalne tehnike i informacijske tehnologije sve više i sve brže ulazi u svakodnevnu praksu industrijskih poduzeća. Nema funkcije niti procesa koji mogu opstati kao svojevrsni otoci klasike. Prema tome sklonost blok dijagramima treba napustiti i zamijeniti je potrebom primjene E-R dijagrama (što također predstavlja našu logiku, ali utemeljenu na novim info tehnologijama). Dekompozicija funkcije održavanja, te jednoznačnost veza i odnosa između svih entiteta, kao i obavljena istraživanja u poglavlju 4, dobre su osnove za modeliranje organizacijske strukture.

5.4. Planiranje i upravljanje radovima održavanja

U raspravi o oblikovanju procesa održavanja treba sažeto ukazati i na neka rješenja i probleme u svezi s planiranjem i upravljanjem održavanjem. Upravljanje održavanjem zavisi od metoda i koncepcija koje su spomenute i obrađene u poglavlju 3. Odabrana

strategija, te definirani preventivni i korektivni procesi održavanja prethode aktivnostima planiranja.

Za uspješno planiranje a to znači i dobru iskoristivost raspoloživosti fonda radnog vremena, uputno je koristiti pristup koji je grafički prikazan na slici 5.12. a).



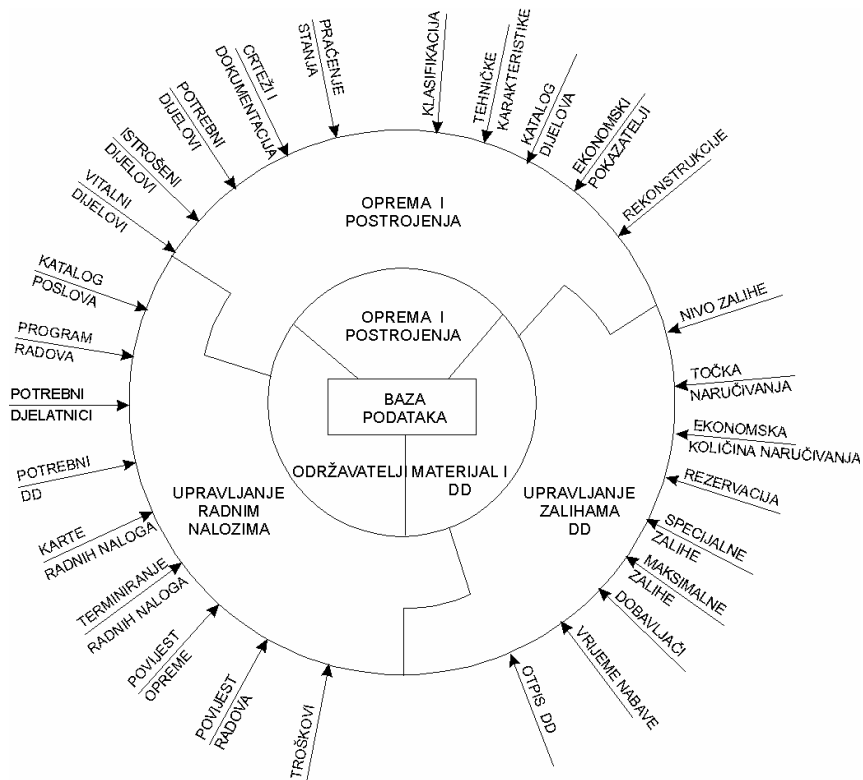
Slika 5.12. Korištenje fonda radnog vremena održavatelja

Na slici 5.12 je u dvije varijante, kvalitativno prikazana dinamička ovisnost preventivnih i korektivnih zahvata. Varijanta pod “a” na slici 5.12. znači da najprije treba planirati (i obavljati) korektivne zahvate a u preostalom fondu radnog vremena planirati preventivne radove. Takav pristup osigurava brzo otklanjanje kvarova, uz odgađanje preventivnih radova. Uz to, bitna je postavka da se održavanje planira i izvodi u raspoloživom fondu radnog vremena. Upravo to znači bitnu razliku u odnosu na pristup pod “b” na slici 5.12.

U održavanju postoje uglavnom četiri vrste zahvata s određenim specifičnostima u planiranju, a to su:

- preventivni zahvati (obično kontrolni pregledi, manji servisi, koji se izvode vizualno, prijenosnim instrumentima, taktilno i sl.).
- planski popravci i popravci kvarova (različiti po opsegu radova i ciklusa)
- plansko podmazivanje
- gospodarenje DD i materijalima održavanja (planiranje, nabavljanje, skladištenje, upravljanje zalihama, izuzimanje, praćenje troškova).

Osnovni segmenti u sustavu upravljanja održavanjem prikazani su shemom na slici 5.13.



Slika 5.13. Shema upravljanja održavanjem (model IBM, SAD)

Odgovarajući informacijski sustav za upravljanje može imati sljedeće module:

- uvođenje i praćenje tehnologije održavanja,
- priprema i praćenje radnih naloga,
- praćenje stanja opreme,
- planiranje održavatelja,
- praćenje troškova.

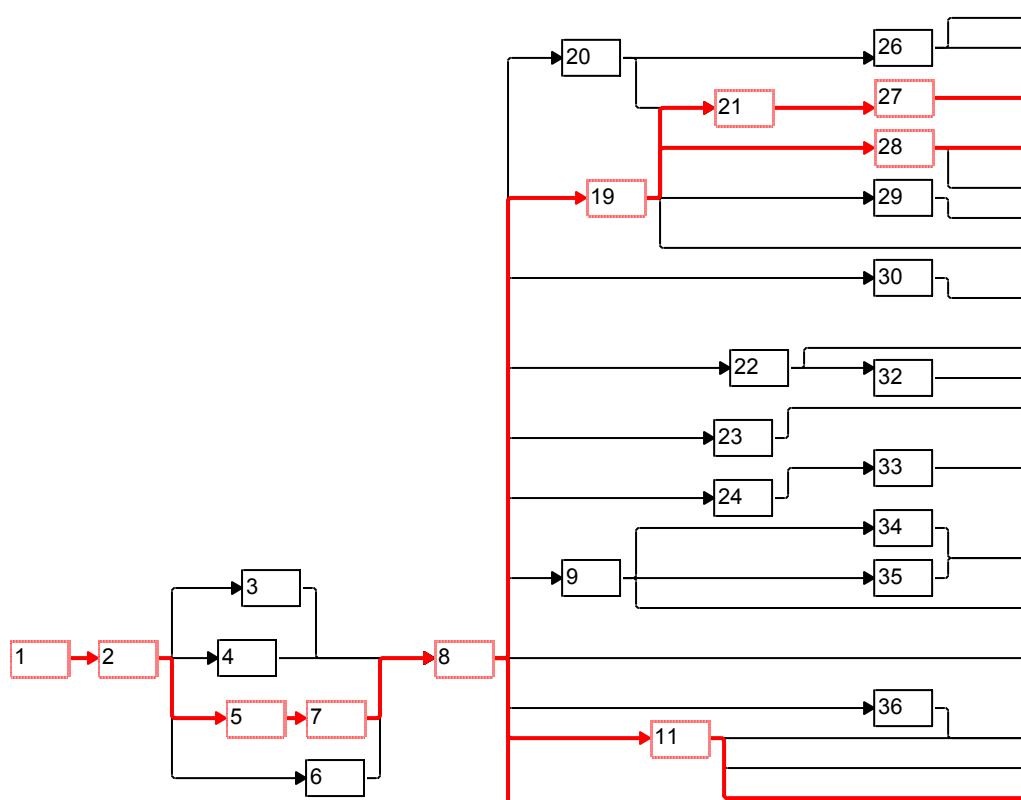
U poduzeću gdje je uvedena CIM - koncepcija, jasno je da se održavanje javlja kao jedan od integralnih segmenata takve proizvodnje.

Bez obzira na to izvodi li se planiranje klasičnim sredstvima (višeći džepovi, planske ploče) ili korištenjem SW paketa, potrebno je složiti bazu podataka, odnosno listu podataka koja sadrži:

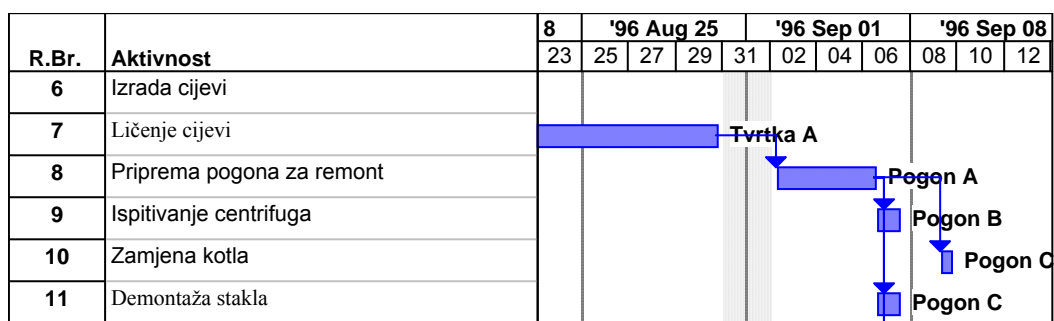
- podatke o opremi (osnovnim sredstvima),

- podatke o vrstama zahvata održavanja (tehnologija održavanja),
- podatke o radnim nalogima,
- podatke o djelatnicima održavanja,
- podatke o doknadnim dijelovima, itd.

Jedan od elemenata je i upravljanje vremenom, no o tome ovdje neće biti veće rasprave, ali je za primjer dat jedan segment ili dio SW za planiranje radova održavanja. Za planiranje svakog složenijeg planskog popravka koriste se tehnike mrežnog planiranja i vremenskih dijagrama, što je ilustrirano slikama 5.14. i 5.15. (primjeri iz prakse).



Slika 5.14 Tehnika mrežnog planiranja PRECEDENCE (segment plana GP)

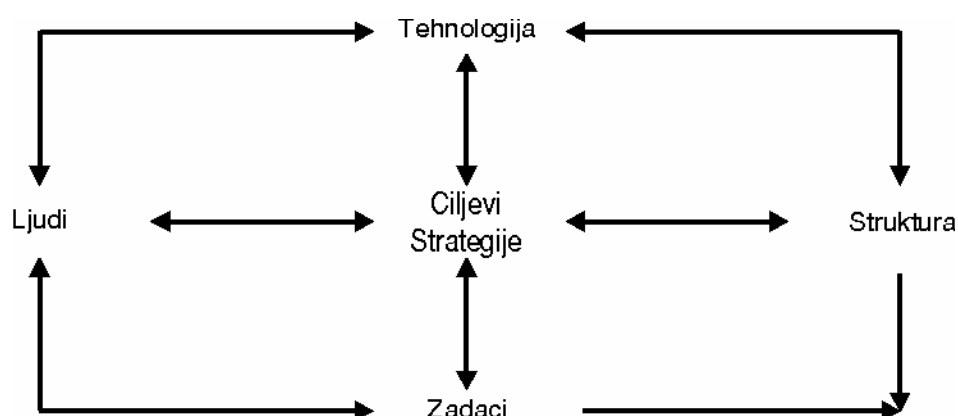


Slika 5.15. Vremenski dijagram planiranog zahvata održavanja

6. MODELIRANJE ORGANIZACIJSKE STRUKTURE FUNKCIJE ODRŽAVANJA

6.1. Faktori modeliranja

Brojni su faktori, unutarnji i vanjski, koji djeluju na oblikovanje organizacije poduzeća odnosno modeliranje njegove organizacijske strukture. Svi utjecajni faktori su međusobno zavisni, te promjenljivi po učestalosti i intenzitetu djelovanja. Jedna od ilustracija takvih veza između nekih unutarnjih faktora prikazana je na slici 6.1.

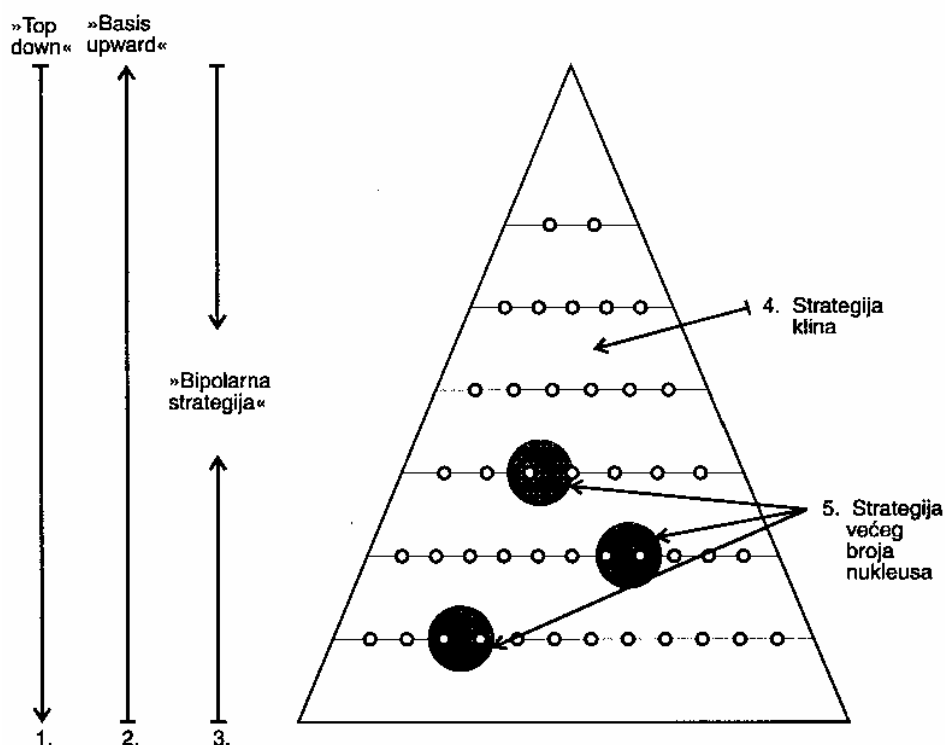


Slika 6.1. Veze između unutarnjih faktora /9/

Od važnijih unutarnjih faktora su: **ciljevi i strategije** poduzeća, tehnologije rada i proizvodnje, veličina poduzeća, djelatnici, ciklusi, proizvodi i lokacija.

Među vanjskim faktorima koji djeluju na oblikovanje organizacijske strukture poduzeća treba istaknuti: institucionalne uvjete, integracijske procese, tržište, te razvoj znanosti i tehnike.

Organizacijska struktura poduzeća može se modelirati na različite načine, a poznatiji pristupi su pokazani na slici 6.2.



Slika 6.2. Mogući načini strukturiranja odnosno modeliranja organizacijske strukture /9/

U praksi su vrlo česta rješenja kombiniranih ili mješovitih organizacijskih struktura poduzeća. Takve strukture nastaju primjenom više različitih pristupa i tehnika. Pri tome je pravilo da se jedna razina oblikuje samo jednim pristupom.

Organizacijske strukture su vrlo dinamične i moraju se mijenjati odnosno prilagođavati svim promjenama koje uzrokuju unutarnji i vanjski faktori. Na teorijskom planu u tijeku su spomenute značajne promjene, tj. pojave novih pristupa i modela.

6.2. Nove organizacijske strukture održavanja

Ukupan zadatak jednog poduzeća ostvaruje se obavljanjem skupa raznovrsnih poslova. Za ovaj rad to je definirano slikom 2.1., gdje se naziv funkcije odnosi na jedan logički povezan podskup srodnih ili sličnih poslova. Očito je da rješenje prema slici 2.1. može predstavljati funkcionalnu organizacijsku strukturu. Za oblikovanje

organizacijske strukture na sljedećoj razini može se osim klasičnog pristupa “odozgo prema dolje” koristiti i neki drugi pristup (prema slici 6.2.). Upravo na toj razini javlja se problem detaljnog oblikovanja funkcije održavanja. Ovdje, osim o svim spomenutim unutrašnjim i vanjskim faktorima treba voditi računa i o interakcijama s drugim područjima. Prema tome, s metodološkog stajališta modeliranje organizacije održavanja je ovisno o drugim dijelovima organizacijske strukture, iste, više i niže razine. Pri oblikovanju organizacijskih struktura moguća su polazišta teorijski poznata i utemeljene strukture kao npr:

a) birokratske (klasične, tradicionalne) strukture

- funkcionalna,
- divizionalna;

b) organski adaptivne strukture

- projektna,
- matrična;

c) inovativne strukture;

d) kombinirane (mješovite) strukture.

Potreba prilagodbe sve učestalijim, većim i značajnijim promjenama rezultira i novim rješenjima organizacijske strukture. Od važnih promjena u odnosu na navedene strukture, u gotovo svim novim rješenjima karakteristično je:

- nema stroge hijerarhije,
- sve je manji broj razina,³⁵
- prevladava pristup procesnoj organizaciji (pomak od funkcija k procesima, sve se više napuštaju principi stroge podjele rada,)³⁶

³⁵ Ova tendencija može se ilustrirati i primjerom Kruppa, kod koje je jasno vidljivo smanjivanje broja razina, pedesetih, sedamdesetih i devedesetih godina/34/

³⁶ “Prozessorientierung” ist “in”, “Funktionsorientierung” ist “out” /35/

Nova se rješenja temelje na **informacijskoj** tehnici i tehnologiji. Arhitektura suvremenih procesa, za koje se oblikuju organizacijske strukture, sadrže sve pretpostavke za postavljanje procesno orijentirane organizacije. Ovdje treba naglasiti da se uvođenje takvih struktura u praksi ostvaruje u određenom vremenu, pa su zbog toga i značajne prijelazne ili miješane forme strukture³⁷. Neke važnije značajke klasičnih i novih modela organizacije prikazane su u tablici 6.1./37/.

Tablica 6.1. Značajke modela organizacijskih struktura

STARI MODEL	NOVI MODEL
Individualni zadaci kao osnovna jedinica organizacije	Tim kao osnovna jedinica organizacije
Odnosi s okolinom održavaju se pomoću uskog kruga specijalista	Gusta mreža povezanosti s okolinom (mnogi)
Vertikalni tijek informacija	Horizontalni i vertikalni tijek informacija
Odluke se spuštaju prema dolje a tijek informacija prema gore	Odluke se donose tamo gdje se nalaze informacije
Visoka organizacijska struktura - mnogo razina managementa	Plosnata organizacijska struktura - malo razina managementa
Naglasak na strukturama	Naglasak na procesima
Naglasak na pravilima i standardnim procedurama	Naglasak na rezultatima i krajnjim ciljevima
Čvrsto radno vrijeme, cjelodnevno	Fleksibilni radni dan, djelomično radno vrijeme
Put u karijeri prema vrhu hijerarhijske piramide	Put u karijeri fleksibilan, lateralni, tj. horizontalan
Standardizirano vrednovanje i sustav nagrađivanja	Povremeno vrednovanje i nagrađivanje
Jednostavna jaka kultura sa čvrstim očekivanjima ponašanja	Različitost gledišta i ponašanja
Specijalizirani i usmjereni pojedinci	Specijalizirana i usmjerena organizacija
Okruženje definirano na bazi zemlje i lokacije	Okruženje shvaćeno globalno
Etnocentričnost	Internacionalnost

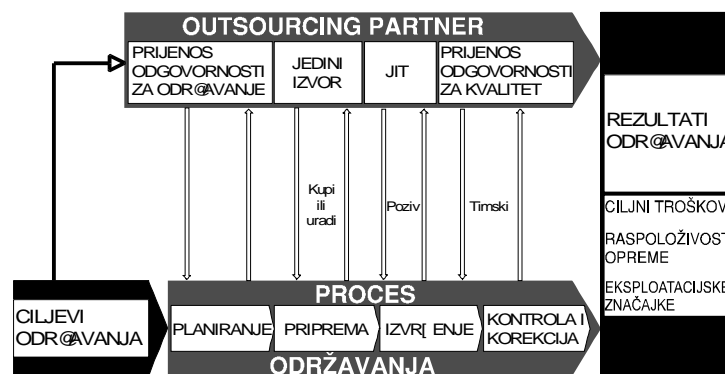
Jedna od varijanti novog rješenja organizacijske strukture održavanja može biti takva da procese održavanja kreiraju i definiraju timovi stručnjaka, kojima se daju velike ovlasti, ali i obveze da ostvare optimalni cilj održavanja: maksimalna raspoloživost opreme uz minimalne troškove. Kod takvog se rješenja hijerarhijska struktura svodi na tri razine: manager, vođa procesa (projekta) i timovi koji izvode aktivnosti definiranih procesa.

³⁷ U teoriji organizacije i u svezi s novim formama treba spomenuti prisutnost problema nazivlja, npr. nepreciznost određenja pojmova: zadatak - funkcija - proces i sl.

Dekompozicija funkcije održavanja u poglavlju 5, predstavlja postupak kojim se može doći do procesno orijentirane organizacije održavanja. Naime, takva dekompozicija u

cijelosti i vrlo precizno definira sve procese u održavanju opreme. A upravo su procesi polazište za određivanje ostalih elemenata organizacijske strukture održavanja (djelatnika, vremenskog slijeda, odnosa). Jedan od modela organizacijske strukture održavanja temelji se na strategiji poduzeća da smanji troškove poslovanja. Radi se o pristupu Outsourcing ili strategijska kooperacija na održavanju, što se može pokazati blok shemom na slici 6.3. Takav način organizacije nosi i određene rizike, kao što su:

- međusobna ovisnost,
- poslovna sposobnost partnera - kooperanta,
- dodatno opterećenje sustava informacija, itd.



Slika 6.3 Outsourcing u održavanju /38/

Za outsourcing na Godišnjem srećanju Vzdrževalcev Slovenije u listopadu 1997. godine predsjedajući EFNMS-a A.J.Klijn je rekao: “Outsourcing je pojava koju u moderenom održavanju često srećemo. Podrazumijeva unajmljivanje vanjskih usluga ili nuđenje naših usluga održavanja ili uopće ugovorno izvođenje radova održavanja....”/39/.

Virtualna³⁸ organizacija jedno je od najnovijih rješenja, a sastoji se od niza malih jedinica od kojih svaka ima svoje određene kompetitivne sposobnosti, i koja se ujedinjuje s drugim malim jedinicama na određenim zadacima (npr. nekim projektima) najvjerojatnije pomoću Intraneta, a nakon toga se raspada. U osnovi zamišlja se da je virtualna organizacija sastavljena od samostalnih poduzeća koja su se povezala uglavnom pomoću računalne mreže i rade na zajedničkom zadatku. Intranet im pomaže u izravnom i trenutnom kontaktu, kao da su pod jednim krovom, premda mogu biti čak i na različitim kontinentima. Za izgradnju organizacijske strukture održavanja virtualan model teško može biti od koristi.

Polaznom se premisom u ovoj izjavi smatra činjenica da je funkcija održavanja proizvodne opreme svrhovito usmjerena osnovnom cilju - već više puta naglašavanom: maksimiranje raspoloživosti i pouzdanosti instalirane opreme uz minimalne troškove - sve u funkciji maksimiranja dobiti poduzeća.

Stoga se čini logičnim većinu poslova i zadataka u svezi s organizacijom održavanja proizvodne opreme, osobito u manjih i srednjih gospodarskih subjekata, zadržati pod neposrednim nadzorom uprave subjekta (poduzeća). Naravno, dio se poslova i zadataka specifičnih zahtjeva može (i redovito se tako i čini) izraditi uporabom "outsourcinga".

Neovisno o strukturi sudionika u ostvarenju ukupne zadaće funkcije održavanja (insourcing, outsourcing), posebno se važnom u oba slučaja iskazuje uloga **informacijskog sustava**. Temeljito i cjelovito projektiran, pažljivo izgrađen i održavan, korisnički usmjeren, **upravljački** informacijski sustav funkcije održavanja, kao segment ukupnog informacijskog sustava čitava poduzeća, smatra se danas temeljnim elementom "preživljavanja" poduzeća u uvjetima globalne tržišne kompeticije.

³⁸ Virtualan (virtus) prema B. Klaiću /Rječnik stranih riječi, MH, 1981. godina/ znači potencijalan, moguć, ali i hrabrost, snaga, vrlina. U ovom slučaju važnije je značenje: sposoban za djelovanje, no skriven, koji se ne pojavljuje ali se može pojaviti, potencijalan, eventualan.

Iako uistinu buran razvoj informacijskih tehnologija u posljednjih nekoliko desetljeća, u kojima se mogućnosti sklopovske tehnologije (HW) udvostručuju svakih jednu do dvije godine, a raspoloživost programske opreme raste po sličnom zakonu, projekti informacijskih sustava pokazuju posve obrnutu situaciju: nerijetko traju i više desetljeća. Osnova je za ovo u činjenici što je većina elemenata strukture **informacijskog društva** podložna ubrzanom razvoju i promjenama, ali temeljni element - **informacija** - ostaje stabilnim. Uobičajno je, naime, temeljnim elementima **informacijskog područja** kao segmenta informacijskog društva smatrati sljedeće:

- informaciju (najčešće u digitalnom obliku),
- sklopovsku i programsku opremu (HW, SW),
- komunikacijsku infrastrukturu,
- komunikacijske usluge,
- primijenjena organizacijska i aplikacijska rješenja,
- korisnika - potrošača informacijskih i komunikacijskih usluga.

Motreći očite promjene u razvoju pojedinih od elemenata, razvidno je da su konstantni: **informacija i korisnik**. Ostali su elementi podložni neočekivano brzim promjenama, pa se pristup modeliranju organizacijske strukture funkcije održavanja uporabom metodologije informacijskog inženjeringa čini posve opravdanim.

Prepoznavanje svih bitnih **procesa** u djelatnosti održavanja, detaljiranjem definiranih procesa kroz izradu dijagrama “entiteti - veze” (E-R), postavljeni su posve dobri temelji za modeliranje organizacijske strukture, fleksibilne u pogledu forme, prilagodljive većini gospodarskih subjekata (s obzirom na veličinu, djelatnost, tehnologiju i slično). Poštujući osnovne faze projektiranja i izgradnje informacijskih sustava (spomenutih u poglavlju 5), za koje će konkretno poduzeće daljnji tijek poslova na podrobnoj izgradnji informacijskog sustava i odgovarajuće organizacijske strukture, time biti u mnogome olakšan.

Zaključno se, dakle, može ustvrditi da je organizacijska struktura održavanja temeljena na posve novim konceptima:

- mali broj razina managementa,
- bez stroge hijerarhije,
- temeljena na precizno razrađenim i projektiranim **procesima**.

Za sve zahvate, poslove i zadaće funkcije održavanja osnovni je okvir budućeg razvoja ove za gospodarstvo uopće, iznimno važne inženjerske djelatnosti:

Precizno projektiran i izgrađen upravljački informacijski sustav, temeljen na suvremenim informacijskim tehnologijama (osobito u pogledu tematskog segmenta: baze podataka), apsolutno usmjeren korisniku, iskazuje se pri tome stožernim čimbenikom.

7. ZAKLJUČAK

Za rješavanje problema održavanja opreme u industrijskim poduzećima klasična je procedura, pojednostavljeno, sljedeća: Izabere se strategija na temelju svih relevantnih informacija, u skladu sa strategijom projektiraju se procesi održavanja, definira se plan i program izvođenja pojedinih procesa, izvode se i prate svi radovi, te na kraju analiziraju rezultati. Opisana procedura načelno se može prihvatiti, a rezultati istraživanja u ovom radu mogu se u proceduri koristiti i dati doprinos postizanju boljeg ukupnog rezultata održavanja, a to znači i rezultata poslovanja poduzeća.

Za ostvarenje rezultata poslovanja potrebno je da zadaci održavanja budu dio odgovarajuće organizacijske strukture. U ovom istraživanju se daje i prilog boljem oblikovanju organizacijske strukture³⁹.

S gospodarskog stajališta nisu zanemarivi ni efekti koji se mogu postići primjenom rezultata istraživanja u fazi upravljanja održavanjem, prije svega u svezi s resursima.

Navedeni pozitivni rezultati koji se mogu postići u skladu su s polaznim pretpostavkama u ovom radu. Konkretni rezultati mogu se poopćiti i definirati sljedećim zaključcima:

1. Spoznaje dobivene egzaktnim proračunom raspoloživosti opreme daju uvid u stvarna zbivanja s opremom (grafički prikazi na slikama od 4.1. do 4.7.) i parametre za planiranje budućih procesa održavanja. Posebno se može istaknuti spoznaja o mogućnosti planiranja intervencija na opremi radi postizanja potrebne raspoloživosti.
2. Kvantificirana vrijednost eksploatacijske⁴⁰ pouzdanosti opreme (npr. na str. 67), važan je parametar i za proizvođače opreme. U radu se prikazuje i postupak proračuna eksploatacijske pouzdanosti jedne grupe strojeva uz uvjet da radi bar

³⁹ Najveći učinci rezultata ovog istraživanja postižu se u slučaju kad je funkcija održavanja integrirana u organizacijsku strukturu poduzeća.

⁴⁰ Termin eksploatacija često se koristi u proizvodnim procesima kada se govori o uporabi ili korištenju opreme. Ova vrsta pouzdanosti izračunata je za vrijeme korištenja ili uporabe opreme kod korisnika.

jedan stroj u toj grupi. Time se ukazuje na širu mogućnost primjene eksploatacijske pouzdanosti u odnosu na današnju praksu.

3. Poznavanje vrijednosti SVIK-a (npr. u tablici 4.19.) svakog dijela ili sklopa za održavanje industrijske opreme iznimno je važno. Takva spoznaja može koristiti za smanjenje troškova održavanja u svezi s doknadnim dijelovima i to: u planiranju, naručivanju, upravljanju i gospodarenju dijelovima (DD), te racionalizaciji prostora i opreme za rukovanje.
4. U svezi s prethodnim zaključkom stajalište je da navedeni rezultat pridonosi boljem gospodarenju i očuvanju prirodne okoline, a istovremeno to su i problemi dugoročnog razvoja.
5. Sa stajališta prakse, kvantificiranje raspoloživosti i eksploatacijske pouzdanosti (podaci u točki 4.5.), te spoznaje koje iz toga slijede, prilog su uspješnijoj ocjeni kvalitete opreme.
6. Kvantitativna analiza kvarova i relevantni podaci (npr. na str. 74) rezultati su za planiranje i upravljanje procesima održavanja opreme u industriji (točka 4.5, tablica 4.20.).
7. Za planiranje, provedbu i upravljanje održavanjem korisne su, u ovom radu primijenjene, suvremene tehnike i alati informacijskog inženjeringa. One su korektno i uspješno primijenjene za oblikovanje procesa održavanja, koji su tako cjelovitije i potpunije određeni u odnosu na klasične tehnike. Te tehnike (npr. E-R dijagrami) treba primijeniti i u slučaju kada se održavanje opreme povjeri drugom poduzeću.
8. Istraživanje rezultira i pouzdanim podlogama za uspješnije određivanje ciklusa održavanja, opsega radova, broja i struke djelatnika, prostora i opreme održavanja.
9. S obzirom na dvije koncepcije u svezi s troškovima održavanja (točka 3.2.), prednost se može dati pristupu po kojem se troškovi održavanja razmatraju kao

investicijski. Prema analizi podataka za jedan stroj (stroj broj 30) 50% svih zastoja uzrokovalo je 10% od ukupnog broja svih pozicija i sklopova koji su bili u kvaru (vidi tablicu 4.20.).

10. Temeljni okvir budućeg razvoja funkcije održavanja kao dijela ukupnog sustava poduzeća ovisit će o detaljnom projektiranom i izgrađenom upravljačkom informacijskom sustavu (prema točki 5.1.), oslonjenom na suvremene informacijske tehnologije (baze podataka) maksimalno usmjerene korisniku.

11. Provedeno istraživanje ukazalo je, uz ostalo i na neke aktualne probleme daljnjeg razvoja održavanja.

Isto tako u svezi utjecaja na prirodnu okolinu, u održavanju su aktualni problemi u zadnjem razdoblju životnog vijeka opreme (vidi sliku 3.1.) i njima identični problemi u radnom vijeku.

Uz navedeno još uvijek je otvoreno i pitanje pozicije održavatelja, odnosno obrazovanja visokostručnih kadrova.

Ostaje otvoren i problem poopćenja znanstvenih spoznaja u svezi relevantnih uvjeta i ograničenja (npr. razlike: velika poduzeća - mala i srednja poduzeća, strojograđevna industrija, prehrambena industrija itd.).

Za održavanje, kao iznimno važnu inženjersku djelatnost u gospodarstvu, već sada se s velikom sigurnošću može predvidjeti budućnost:

Precizno projektiran i izgrađen upravljački informacijski sustav, temeljen na suvremenim informacijskim tehnologijama (osobito u pogledu tematskog segmenta: baze podataka), apsolutno usmjeren korisniku, iskazuje se pri tome stožernim čimbenikom.

POPIS LITERATURA

1. L.C, Morow,,: *Maintenance Engineering Hand Book*, Mc Graw Hill, New York, , 1973.
2. A. Baldin, L. Furlaneto, A. Roversi, F. Turco: *Priručnik za održavanje industrijskih postrojenja*, OMO, Zavod SR Slovenije za produktivnost dela, Ljubljana 1979.
3. S. Nakajima: *Introduction to TPM*, Productivity Press, Cembridge, Massachusetts, 1988.
4. W. Tschuschke: *Grundlagen der Instandhaltung 2010*, 3. međunarodno savjetovanje - "Održavanje 96", Zbornik radova, od str. 31 do 47, HDO, Opatija 1996.
5. A. Vila: *Organizacija plansko preventivnog održavanja*, Zavod za unapređenje produktivnosti rada, Zagreb, 1964.
6. E. Rejec: *Terotehnologija*, Informator, Zagreb, 1974.
7. J. Franlund: *A Decision Model for Maintenance Planning*, 4. međunarodnog savjetovanja - "Održavanje 97", Zbornik radova, od str. 7 do 16, HDO, Opatija 1997.
8. O. Schicker: *Reparaturni popravci "Metalock" postupkom*, OMO br. 7/8, Ljubljana 1979, str. od 419- 432
9. P. Sikavica, M. Novak: *Poslovna organizacija*, Informator, Zagreb, 1993.
10. Č. Oluić: *Analiza i određivanje mjerila dobrote u organizaciji proizvodnje*, Doktorska disertacija, FSB, Zagreb 1980.
11. M. Žugaj, Z. Horvatec: *Organizacija proizvodnje u samoupravnom socijalizmu*, Informator, Zagreb, 1985.
12. B. Kovačić: *Pristup održavanju na osnovama modularne organizacije*, OMO br. 8, Ljubljana 1988, od str.439 do 441.
13. A. Vila, J. Kovač: *Osnove organizacije in Managementa*, skripta, Založba Moderna organizacija, Kranj, 1997.
14. A. Vila: *Organizacija in organiziranje*, Moderna organizacija, Kranj 1994.
15. F. Bahtijarević-Šiber, S. Borović, M. Buble, M. Dujanić, S. Kapustić: *Organizacijska teorija*, Informator, Zagreb, 1991.
16. D. Taboršak (glavni istraživač), N. Šakić, i ostali: *Istraživanje razvoja sustava logistički integrirane proizvodnje*, Projekt ZIR br. 2-8-175, FSB, Zagreb 1993.
17. A. Klijn: *Maintaining Momentum*, TEAM br 02, Purchasing Decisions, The National Standards Bodies of Europa, Hong Kong, 1997.
18. F. Husmann, W. Hüsler: *Anlage- Beschaffung in der Förder - und Lagertechnik*, ETH Zürich, 1994.
19. D. Parkes: *Izveštaj o progresu u Terotehnologiji*, OMO br. 7/8, Ljubljana, 1980, str. od 405 do 409.
20. H. Grothus: *Universal - Bauteilkatalog Mechanische Beuteile*, Institut Fur Anlagentechnik, Dipl- ing. H.G., D-427 Dorsten, 1970.

21. G. Stappen: *FTPM - der Weg zu höchster Produktivität und Prozess-Sicherheit*, Instandhaltungs-Kongress zur Fachmesse IRW, str od 4.1. do 4.34., Köln, 1997.
22. H. Grothus: *Die Total Vorbeugende Instandhaltung*, Grothus Verlag, Dorsten, 1974.
23. B. Kovačić: *Ekonomičnost održavanja*, Stručni skup HDO, Zbornik radova, str 111 do 115, Split, lipanj 1995.
24. H.J. Warnecke: *Hanbuch Instandhaltung I, Instandhaltungs-Management*, Köln, Verlag TÜV, Rheinland, 1992.
25. W.E. Deming: *Out of the Crisis*, MIT, University Press, 1986.
26. I. Čala, G. Marić: *Prilog računanju eksploatacijske pouzdanosti instalirane opreme*, SIPT-o Zagreb, Zbornik radova, str. od 331 do 344, Cavtat, travanj 1990.
27. F. Dusman, R. Stančec: *Odabrana poglavlja iz kontrole kvalitete*, Liber, Zagreb 1983
28. A. Đurašević: *Razvijanje proizvoda i unapređenje proizvodnje*, Proizvodnja, Zagreb 7-8/1965.
29. M. Jerić: *Logistika*, Vojnoizdavački zavod, Beograd 1984.
30. D. Kecicioglu: *Reliability Engineering Handbook, Volumen 2*, Prentice Hall PTR, New Jersey 07632, 1991.
31. A.G. Cannon i A. Bendell: *Reliability Data Banks*, Elsevier Applied Science, London 1991
32. J. Martin: *Information Engineering, Book II: Planning and Analysis*, Prentice Hall, Inc., New York, 1990.
33. R. Barker: *CASE Methodes - Entity Relationship Modelling*, Addison - Wesley Publishing Company, New York, 1991.
34. M. Dodwell: *System Modelling Techniques*, Oracle Corporation UK Ltd 1991.
35. J. Hölzl: *Ein CIM-Konzept für einen österreichischen Mittelbetrieb*, Internationaler Sommerkurs 1993, str od 1 do 21, Technische Universität Wien, 1993.
36. P. Schönsleben: *Geschäftsprozess-Engineering-Worauf kommt es an?*, IO Management, Zürich, Volumen 66, studeni 1997, str. od 28 do 33.
37. D. Ancona i ostali: *The "New" Organization*, MIT, South Western College Publishing, 1996.
38. B. Kovačić: *Management u održavanju*, Stručni kolokvij o održavanju, HDO, podružnica Osijek, Zbornik radova, Našice, siječanj 1995.
39. A. Klijn: Izjava predsjedajućg EFNMS-a, Vzdrževalec, DVS, Ljubljana, 1997, na str. 37.

ŽIVOTOPIS

Ivo Čala rođen je 15. siječnja 1946. godine u Šibeniku. Osnovnu školu je završio u Zagrebu, a Srednju pomorsku školu 1964. godine u Bakru. Na brodovima “Jadrolinije”, “Kvarnerske plovidbe” i “Jugolinije” plovio je do upisa u bivšu Visoku tehničku školu u Zagrebu. Po završetku 6. stupnja studija nastavio je studij na Fakultetu strojarstva i brodogradnje i diplomirao 1972. godine.

U Prehrambeno - tehnološkom institutu radio je od 1973. godine, s jednogodišnjim prekidom zbog odsluženja vojnog roka, do dolaska na FSB, 1. siječnja 1976. godine.

Poslijediplomski studij upisao je na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i magistrirao 1977. godine iz područja organizacije rada, koje stručno usmjerenje je izravno povezano s predmetima iz područja Održavanja, planiranja i praćenja proizvodnje.

Koautor je knjige Modeli planiranja proizvodnje, Informator, Zagreb 1982, a napisao je za studente dvije skripte iz područja održavanja. Napisao je i poglavlja “Održavanje opreme” i “Planiranje proizvodnje” za “Inženjerski priručnik”, pripremljena za tisak u Školskoj knjizi, Zagreb.

Jedan je od inicijatora osnivanja Hrvatskog društva održavanja (HDO), u kojem je obavljao funkcije predsjednika, potpredsjednika i tajnika u više mandata.

Bio je dugogodišnji član Uređivačkog savjeta časopisa OMO, koji je bio glasilo svih održavatelja bivše države. U razdoblju od 1989. do 1990. bio je i posljednji predsjednik YUMO-a. Nakon toga, od 1991. godine predsjednik je Programskog i stručnog odbora HDO, a sada je predsjednik Odbora HDO za izobrazbu. Od 1993. glavni je i odgovorni urednik stručnog časopisa “Održavanje i eksploatacija”.

Objavio je veći broj znanstvenih i stručnih radova. Organizirao je niz seminara i stručnih skupova iz područja održavanja, upravljanja proizvodnjom, vođenja projekata i tehnika mrežnog planiranja, a bio je autor i redaktor nekoliko zbornika radova sa skupova održavanja. Sudjelovao je u brojnim zadacima znanstveno-istraživačkih i stručnih projekata iz područja održavanja, planiranja i logističke podrške proizvodnje.

CURRICULUM VITAE

Ivo Čala, M.Sc. was born on January 15, 1946 in Šibenik. He completed the primary school in Zagreb, and the Secondary Maritime School in 1964 in Bakar. He navigated on the “Jadrolinija”, “Kvarnerska plovidba” and “Jugolinija” ships until enrolling in the former Technical College in Zagreb. After completing the post-secondary study, he continued the study at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture and graduated in 1972.

He worked at the Institute for Food Technology from 1973 till January 1, 1976, when he started to work at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture.

He enrolled in the postgraduate study at the Faculty of Economics University of Zagreb and defended his Master's thesis in 1977 in the field of production engineering, in the technical branch which is directly connected to the topics of Production Maintenance, Planning and Control.

He is the co-author of the book *Modeli planiranja proizvodnje* (Models of Production Planning), Informator, Zagreb, 1982, and has written two course-notes for students on the topic of maintenance. He has also written chapters entitled “*Održavanje opreme*” (Equipment Maintenance) and “*Planiranje proizvodnje*” (Production Planning) for the “*Inženjerski priručnik*” (Engineers' Manual), (which will be printed by Školska knjiga, Zagreb).

He has been one of the initiators in founding the *Hrvatsko društvo održavanja* (HDO) - Croatian Maintenance Society, where he has been active as president, vice-president and secretary during several mandates.

He was for many years member of the Editorial board of the journal OMO, a newsletter of all the maintenance engineers in the former state. In the period from 1989 to 1990, he was also the last president of YUMO. After that, since the year 1991, he has been the president of the Programme and Technical Board of HDO, and at the moment he is the president of the HDO board for education. Since 1993 he has been the editor-in-chief of the technical journal *Održavanje i eksploatacija* (Maintenance and exploitation).

He has published a number of scientific and technical papers. He has organised numerous seminars and technical conferences in the field of production maintenance and management, designing and network planning, and he has been the author and reviewer of several proceedings on maintenance. He has participated in numerous scientific and research activities and in technical projects on maintenance, planning and production logistic support.